Postverlagsort Göttingen

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS H. v. FICKER R. GRAMMEL
O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS
R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT H. STILLE

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

SPRINGER-VERLAG IN BERLIN UND GÖTTINGEN

HEFT 8 (225—256) 30. OKTOBER 1946*) 33. JAHRGANG

INHALT:

Zum 90. Geburtstag von Heinrich Hertz. Von J. ZENNECK . . . 225

Persönliche Erinnerungen aus alten Zeiten. Von MAX PLANCK . . . 230

Über Böen und Tromben. Von HARALD KOSCHMIEDER . . . 235

Giftige Eiweißstoffe. Von FRITZ MICHEEL . . . 239

Zur Kritik des „Biogenetischen Grundgesetzes". Von OTTO H. SCHINDEWOLF . . . 244

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN:

Zur Systematik der Bindungsenergien der Atomkerne. Von J. HANS D. JENSEN und HELMUT STEINWEDEL . . . 249

Relativistische Gravitationstheorie mit variabler Gravitationskonstante. Von P. JORDAN . . . 250

Die Messung von β- und γ-Strahlen durch inneren Photoeffekt in Kristallphosphoren. Von RUDOLPH FRERICHS und RUTH WARMINSKY . . . 251

Die Volumviskosität in Gasen als gaskinetische Transporterscheinung. Von MAX KOHLER . . . 251

Eine neue Methode zur quantitativen Analyse von Aminosäuregemischen. Von K. ZEILE . . . 252

Miracil, ein neues Chemotherapeuticum gegen die Darmbilharziose. Von W. KIKUTH, R. GONNERT und H. MAUSS . . . 253

Diphenylarsinchlorid als Mitosegift. Von H. H. MULLER . . . 253

p-Aminobenzoesäure, ein Wuchsstoff für das Urtierchen *Vorticella nebulifera*. Von FRIEDRICH HUTER . . . 254

BESPRECHUNGEN:

WOLFGANG H. VEIL, Goethe als Patient. (Ref.: B. v. Hagen) . . . 255

FREDERICK K. SPARROW, Jr., Aquatic Phycomycetes, exclusive of the Saprolegniaceae and Pythium. (Ref.: R. Harder) . . . 256

TAGESNOTIZEN:

Hans Winkler † . . . 256

Gesellschaft Deutscher Chemiker in Hessen e. V. . . 256

*) Ausgegeben im März 1947.

Bahnbestimmung der Planeten und Kometen

Von

Professor Dr. **G. Stracke**

Mit 21 Abbildungen

VIII, 365 Seiten. 1929. RM. 26.—.

Galaktischer Atlas

Von

Professor Dr. **K. F. Bottlinger** †

Nach dessen Tode fertiggestellt von cand. phil. **Irmgard Beck.**

Mit einem Geleitwort von Professor Dr. **Paul Guthnick.**

8 Tafeln und 8 Seiten Text. 1937. In Mappe RM. 15.—.

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen vorerst etwa halbmonatlich und können durch die Post und jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preis für 12 Hefte mit zusammen etwa 24 Druckbogen RM. 24.—, für das einzelne Heft RM. 2.50 zuzüglich Postgebühren. — Manuskriptsendungen, Bücher usw. werden erbeten an

„Die Naturwissenschaften", Göttingen, Bürgerstr. 50
Institut für physikalische Chemie.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 50 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Anzeigen werden vom Verlag angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

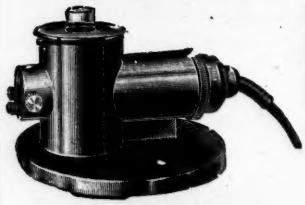
Springer-Verlag OHG.
Berlin-Charlottenburg, Jebensstraße 1.
Fernsprecher 32 20 70

Holsteinische Wertarbeit

Feinoptik – Optische Instrumente
Präzisions-Spiegel — Glasteilungen
Mikro-Präparate
J. D. Möller G. m. b. H., **Wedel i. Holst.**

Bücher der **Technik-**
Ingenieurwissenschaften
Naturwissenschaften *und*
Medizin *Ankauf Verkauf*
Wissenschaftliche Buchhandlung **Kiepert am Knie**
(1) Berlin-Charlottenburg 2, jetzt Knesebeckstr. 8/9

Seifert-Tetralux
der bekannte
Halbwellen-Diagnostik-Röntgenapparat
Wir empfehlen uns für die Instandsetzung von Röntgen- und elektromed. Apparaten aller Fabrikate
Rich. Seifert & Co.
Röntgenwerk Hamburg 13



Lichtelektrisches
Becherglas-Kolorimeter
mit Reagenzglaseinsatz
kurzfristig lieferbar;
ebenso **Photoelemente,**
Luxmeter und **Ultra-Relais.**
Dr. B. Lange, Bln.-Zehlendorf,
Hermannstr. 14/18. Tel.: 805058.
DR. B. LANGE BERLIN

Spektroskopie der Röntgenstrahlen
Von
Professor Dr. **Manne Siegbahn**
Upsala
Zweite, umgearbeitete Auflage
Mit 255 Abbildungen. VI, 575 Seiten. 1931. RM. 47.—

Subharmonic Functions
Von
Radó Tibor
(Ergebnisse der Mathematik und ihrer Grenzgebiete, V. Band, 1. Heft)
V, 56 Seiten. 1937. RM. 6.60

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

33. Jahrgang 30. Oktober 1946*) Heft 8

Zum 90. Geburtstag von Heinrich Hertz.

Von J. Zenneck.

Zu den Jubiläen, die in unserem Lande trotz der sonstigen Feierfreudigkeit des letzten Jahrzehnts nicht oder kaum gefeiert wurden, gehört das 50jährige Jubiläum der Entdeckung der elektrischen Wellen durch Heinrich Hertz. Ich begrüße es deshalb lebhaft, daß „Die Naturwissenschaften" bei der 90. Wiederkehr seines Geburtstages wieder an ihn und sein Werk erinnern wollen. Eine solche Erinnerung ist vielleicht nicht unnötig. Es würde interessant sein zu prüfen, wie viele von den Millionen, die ein „„Radio" besitzen und damit die Entdeckung von Hertz genießen, eine Kenntnis davon haben, wer Heinrich Hertz war und was er geleistet hat.

Heinrich Hertz war am 22. Februar 1857 in Hamburg geboren; sein Vater war ein angesehener Rechtsanwalt, später Oberlandesgerichtsrat und nachher Senator. Da Hertz beabsichtigte Bauingenieur zu werden, erledigte er nach dem Abiturium (1875) die für Bauingenieure vorgeschriebene praktische Tätigkeit und zwar in Frankfurt am Main. Im nächsten Jahr studierte er an der Technischen Hochschule Dresden und wurde dann Einjährig-Freiwilliger beim Eisenbahn-Regiment in Berlin. Danach ging er nach München an die Technische Hochschule, aber noch ehe das Semester begonnen hatte, kam bei ihm ein schon lange erwogener Entschluß zum Durchbruch, das Bauingenieurfach aufzugeben und Mathematik und Physik zu studieren, was er dann an der Technischen Hochschule und Universität München auch tat.

Im Herbst 1878 siedelte er an die Universität Berlin über, die damals durch Helmholtz und Kirchhoff eine besondere Anziehungskraft für Physiker und Mathematiker besaß. Schon 1880 promovierte er mit einer theoretischen Arbeit „Über die Induktion in rotierenden Kugeln", bekam eine Assistentenstelle bei Helmholtz und veröffentlichte eine Reihe von experimentellen und theoretischen Arbeiten. Mit einer experimentellen Arbeit habilitierte er sich auch 1883 an der Universität Kiel. Ein Jahr darauf erhielt er einen Ruf als ordentlicher Professor an die Technische Hochschule Karlsruhe, heiratete dort 1886 die Tochter eines Kollegen, Elisabeth Doll, die erst vor 5 Jahren in England gestorben ist, und führte 1887—1888 seine Versuche mit elektrischen Wellen aus. Die Folge war, daß die Universität Gießen sich um ihn bewarb, daß er einen Ruf nach Berlin und nach Bonn und die Möglichkeit bekam, unter besonders günstigen Bedingungen die Leitung eines neu zu gründenden Forschungsinstituts in den Vereinigten Staaten zu übernehmen. Er wählte Bonn. Glanzpunkte seiner Bonner Zeit waren ein Vortrag „Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität" bei der Naturforscher-Versammlung in Heidelberg, zu dem ihn die Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte aufgefordert hatte, und eine Reise nach England auf Einladung der Royal Society. Aus seinem Bericht darüber geht hervor, wie freundlich er von den englischen Kollegen aufgenommen wurde und welche Freude es ihm gemacht hat, die ihm wissenschaftlich gut bekannten englischen Physiker auch persönlich kennen zu lernen.

Die Übersiedlung nach Bonn bildete mit *einer* Ausnahme, der Arbeit „Über die mechanische Wirkung elektrischer Drahtwellen" [1]), den Abschluß seiner experimentellen Tätigkeit. Er arbeitete dort fast nur an seinem theoretischen Werk „Die Prinzipien der Mechanik". Schon gegen Ende seiner Karlsruher Zeit war er nicht mehr ganz gesund. Er hatte Schwierigkeiten mit seinen Zähnen und Augen, mit einem Fußleiden und einer Grippe. Im Sommer 1892 zeigte es sich, daß ein ernsthaftes Nasen-, Rachen- und Ohrenleiden vorlag, augenscheinlich Äußerungen einer allgemeinen Sepsis, der er 1893, noch nicht 37 Jahre alt, erlag.

Daß Hertz nicht nur ein sehr guter, sondern ein genialer Physiker war, dafür spricht wohl am besten die folgende Tatsache. Als er 1880 nach dem zweisemestrigen Studium von Mathematik und Physik in München sein 3. [2]) Semester an der Universität Berlin begann, hatte die philosophische Fakultät dort als Preisaufgabe gestellt, es solle untersucht werden, ob die Elektrizität, die beim elektrischen Strom in einem Draht fließt, eine nachweisbare Masse und damit Trägheit (kinetische Energie) besitze. Obwohl Hertz nach dem Maßstab der technischen Hochschulen noch nicht einmal zur Vorprüfung zugelassen worden wäre, nahm er die Preisaufgabe sofort in Angriff, führte sie in kurzer Zeit durch [3]) und erhielt den Preis mit besonderer Anerkennung seiner Leistung bei der Preisverkündigung. Auch daß er schon nach zwei Jahren, also im 7. Semester, promovierte, ist ein Zeichen seiner ungewöhnlich frühen physikalischen Reife.

Ein Beweis dafür, wie leicht ihm das physikalische Arbeiten wurde, ist, daß — mit Ausnahme einer einzigen Arbeit, die erst 1892 erschienen ist — seine sämtlichen experimentellen Arbeiten, soweit sie nicht elektrische Wellen betreffen, in seine kurze Berliner Assistentenzeit (1880—1883) fallen. Dabei befassen sie sich mit den verschiedenartigsten Aufgaben z. B. mit einem Hitzdraht-Strommesser mit Spiegelablesung zur Messung sehr schwacher elektrischer Ströme, mit der Verdunstung und Kondensation von Flüssigkeiten, mit Versuchen über die Glimmentladung und mit Kathodenstrahlen. In der ersten Arbeit, die sich mit Kathodenstrahlen beschäftigt [4]), handelt es sich um die Frage nach der physikalischen Natur der Kathodenstrahlen. Daß er dabei auf Grund sehr sorgfältiger, aber wie sich später herausstellte, nicht einwandfreier Versuche zu einem unrichtigen Ergebnis [5]) gelangte, mag für manchen Physiker, der ein ähnliches Mißgeschick hatte, ein Trost sein. In der zweiten Arbeit [6]) wies er als neue Eigenschaft der Kathodenstrahlen nach, daß sie imstande sind, dünne Metallschichten zu durchdringen, ohne ihre Eigenschaften zu verlieren. Eine weitere grundlegende Entdeckung, diejenige des lichtelektrischen Effekts, enthält eine Arbeit [7]), die im Zu-

1) Wied. Ann. 42 (1891) 407—415.

2) oder sein 5., wenn man die ersten zwei in der Bauingenieur-Abteilung mitrechnet.

3) „Versuche zur Feststellung der oberen Grenze für die kinetische Energie der elektrischen Strömung", Wied. Ann. 10 (1880) 414—446. Hertz kam später auf die Frage zurück: „Obere Grenze für die kinetische Energie der bewegten Elektrizität", Wied. Ann. 14 (1881) 581—590.

4) „Versuche über die Glimmentladung", Wied. Ann. 19 (1883) 788—816.

5) „Diese Kathodenstrahlen sind elektrisch indifferent. Unter den bekannten Agentien ist das Licht die ihnen am nächsten verwandte Erscheinung."

6) „Über den Durchgang der Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten." Wied. Ann. 45 (1892) 28—38.

7) Wied. Ann. 31 (1887) 983—1000.

*) Ausgegeben im März 1947.

sammenhang mit seinen Versuchen über elektrische Wellen gemacht wurde, aber unmittelbar nichts damit zu tun hat.

Von den theoretischen Arbeiten vor 1887 beziehen sich vier auf elastische Fragen. Zwei sind sehr bekannt geworden, diejenige „Über die Berührung fester Körper und über die Härte" [8]) und die „Über das Gleichgewicht schwimmender elastischer Platten [9]). Die erste behandelt eine wichtige, aber physikalisch schwer faßbare Eigenschaft fester Körper, die Härte. Die übliche praktische Methode zur Bestimmung derselben (Härteskala) bedeutet höchstens ein Rezept; die von Hertz vorgeschlagene Definition besitzt durchaus die Schärfe von anderen physikalischen Definitionen und ist wohl bis heute in der einen oder anderen Form die einzig brauchbare geblieben. Die zweite genannte Arbeit überrascht durch ihr Ergebnis: man kann eine ebene elastische Platte, deren Dichte größer ist als die des Wassers, unter Umständen dadurch zum Schwimmen auf Wasser bringen, daß man sie mit einem Gewicht belastet. Die Erklärung ist einfach die, daß beim Auflegen des Gewichts an geeigneter Stelle die Platte sich zu einer Schale durchbiegt.

Den Höhepunkt der wissenschaftlichen Tätigkeit von Hertz bildeten seine *Versuche mit elektrischen Wellen.*

Am meisten Aufsehen erregt haben die Versuche, die Hertz in einer Arbeit mit dem Titel „Über Strahlen elektrischer Kraft" [10]) veröffentlichte. Der *Sender,* den er verwandte (Fig. 1), die praktische Ausführung des

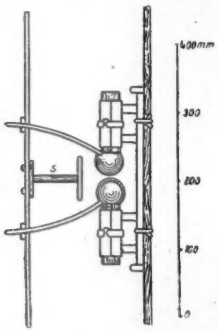


Fig. 1. Kleiner Sender für Spiegelversuche von Heinrich Hertz (Schema).

„Hertzschen Dipols", bestand im wesentlichen aus einem Metallrohr von 25 cm Länge, das in der Mitte durch eine Funkenstrecke mit Metallkugeln unterbrochen war. Die Wellenlänge des Senders, durch stehende Wellen in Luft gemessen, betrug 66 cm. Der *Empfänger* war entweder ein kreisförmiger Kupferdraht von 7,5 cm Kreis-Durchmesser oder derjenige von Fig. 2: zwei gerade Drahtstücke von 50 cm Länge und 5 mm Durchmesser in einer Geraden, zwischen den einander zugekehrten Endpunkten zwei Drähte angeschlossen, die zu einer fein regulierbaren Funkenstrecke führten. Sender und Empfänger standen in zylindrischen Metallspiegeln von parabolischem Querschnitt. Mit dieser Anordnung konnte Hertz die geradlinige Ausbreitung, die Polarisation und Versuche mit Polarisatoren (Paralleldrähten), Reflexion und Brechung der Strahlen zeigen.

Fragen wir uns einmal, was das Neue an diesen Versuchen war.

a) Die Herstellung elektrischer Schwingungen war bekannt. Daß sie bei den Entladungen von Kondensatoren durch Induktivitäten zustande kommen müssen, war durch die Theorie von Lord Kelvin und Kirchhoff vorausgesagt, durch Feddersen experimentell bewiesen worden. Schon im Jahr 1870 hatte W. von Bezold Versuche gemacht, bei denen er elektrische Schwingungen hoher Frequenz und Wellen längs Drähten bekam und auch richtig deutete; aber, obwohl seine Mitteilung ausdrücklich als vorläufige bezeichnet war, hat er die Frage nicht weiter verfolgt und so war seine Arbeit vollkommen in Vergessenheit geraten. Der Nestor der elektrischen Schwingungen, Oliver Lodge, hat in denselben Jahren, in die die Arbeiten von Hertz fallen, die Theorie des Blitzableiters untersucht und dabei eine Reihe von Versuchen über die Entladung sehr kleiner Kondensatoren angestellt, welche ihn auf die Beobachtung von Schwingungen und von Wellen längs Drähten führten. Und Professor Fitzgerald, damals in Dublin, hatte sich „seit mehreren Jahren bemüht, mit Hilfe der Theorie die Möglichkeit solcher Wellen vorauszusagen und die Bedingungen für die Erzeugung derselben aufzufinden". [11]) Alle diese Vorläufer hat Hertz selbst in der Einleitung zum 2. Band seiner Gesammelten Werke, der den Titel führt „Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kräfte", erwähnt, die Arbeit von v. Bezold sogar zum großen Teil in diesem Band abgedruckt und damit der Vergessenheit entrissen.

Aber im Gegensatz zu diesen Vorläufern hat Hertz eine äußerst klare und einfache Senderanordnung angegeben, durch die es möglich war, elektrische Schwingungen von ungefähr 1000mal höherer Frequenz als die-

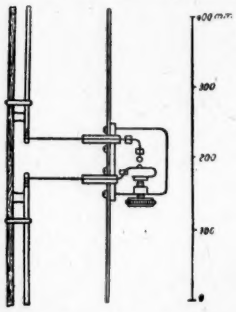


Fig. 2. Kleiner Empfänger für Spiegelversuche von Heinrich Hertz (Schema).

jenige der schnellsten von Feddersen hergestellten und zwar in offenen Leitern zu bekommen und dadurch auch im Außenraum elektromagnetischer Felder diese Frequenz zu erzeugen.

b) Dieser Sender würde nicht ausgereicht haben, wäre es Hertz nicht gelungen, einen *Empfänger* herzustellen, der gestattete, das elektromagnetische Feld des Senders noch auf eine Entfernung von vielen Metern und damit vielen Wellenlängen messend zu verfolgen. Sein Empfänger war von weit größerer Empfindlichkeit als alles damals bekannte. Wenn man heute einem Radio-Beflissenen, der von Hertz nur weiß, daß er „die Anzahl von Perioden pro Sekunde erfunden" hat, von diesem Empfänger erzählte, so würde er, der stolze Besitzer eines „Superhets", sich ebenso darüber wundern, daß ein Mann wie Hertz sich mit etwas so Primitivem abgegeben hat, wie darüber, daß man auch noch über eine solche „vorsintflutliche" Sache spricht Aber dieser einfache Empfänger von Hertz, bei dem alle störenden Nebenapparate entbehrlich sind, ist nicht nur sehr fein ausgedacht, sondern weit empfindlicher als man von vornherein geneigt ist anzunehmen, davon habe ich mich früher bei ausgedehnten Versuchen überzeugt; Bedingung ist nur eine gewisse Schulung des Auges in der Unterscheidung kleiner Änderungen in der Intensität der kleinen Fünkchen.

8) Verh. d. Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes, 61 (1882) 449—463.

9) Wied. Ann. 22 (1884) 449—455.

10) Sitzungsber. Berl. Akad. Wissenschaften vom 13. Dez. 1888 und Wied. Ann. 36 (1888) 769—783.

11) Einleitung zum 2. Band der Gesammelten Werke.

Bei der Frage, wie Hertz zu seinen Versuchen kam, was er damit beabsichtigte und welche Schlüsse er daraus gezogen hat, ist man in der angenehmen Lage, nicht auf Vermutungen angewiesen zu sein. In der schon erwähnten Einleitung zu dem 2. Band seiner Gesammelten Werke hat Hertz sich mit ungewöhnlicher Offenheit über seine Gedanken, Erfolge und Fehler bei seinen Versuchen ausgesprochen. Er sagt dort über die Bedeutung der Versuche:

„Durch die Gesamtheit der geschilderten Versuche ist zum ersten Male der Beweis geliefert worden für die zeitliche Ausbreitung einer vermeintlichen Fernkraft. Diese Tatsache bildet den philosophischen, in gewissem Sinne zugleich den wichtigsten Gewinn der Versuche. In diesem Beweise ist enthalten die Erkenntnis, daß die elektrischen Kräfte sich von den ponderablen Körpern loslösen und selbständig als Zustände oder Veränderungen des Raumes fortbestehen können. Neben dieser Erkenntnis liefern die Einzelheiten der Versuche den Beweis, daß die besondere Art der Ausbreitung der elektrischen Kraft die größte Analogie, wenn nicht vollständige Übereinstimmung zeigt mit der Ausbreitung der Lichtbewegung. Dadurch wird die Hypothese, daß das Licht eine elektrische Erscheinung ist, in hohem Maße wahrscheinlich gemacht ...

Was wir hier als die Leistung der Versuche bezeichnet haben, leisten dieselben unabhängig von der Richtigkeit besonderer Theorien, ... Seit dem Jahr 1861 besitzt die Wissenschaft die Theorie, welche Maxwell auf den Anschauungen Faradays aufgebaut hat, welche wir deshalb die Faraday-Maxwellsche Theorie nennen und welche die Möglichkeit der hier aufgefundenen Klasse von Erscheinungen mit der gleichen Sicherheit behaupten konnte, mit welcher die übrigen elektrischen Theorien gezwungen waren, die Möglichkeit derselben zu verneinen. Die Maxwellsche Theorie übertraf von vorneherein die übrigen elektrischen Theorien durch Schönheit und Reichtum der Beziehungen, welche sie zwischen den Erscheinungen annahm. Gleichwohl vermochte die Maxwellsche Theorie die ihr entgegenstehenden Theorien nicht vollständig zu verdrängen, weil sie sich nur auf die Wahrscheinlichkeit ihrer Endergebnisse, nicht auf die Sicherheit ihrer Voraussetzungen berufen konnte. ... In diesem ihrem natürlichen Zusammenhang können wir Absicht und Ergebnis unserer Versuche nicht besser charakterisieren als indem wir sagen: die Absicht dieser Versuche war die Prüfung der Fundamentalhypothesen der Faraday-Maxwellschen Theorie und das Ergebnis der Versuche ist die Bestätigung der Fundamentalhypothesen dieser Theorie."

Heute denken wir bei der klassischen Elektrodynamik an nichts anderes als an die Faraday-Maxwellsche Theorie und wundern uns, daß damals, 15 Jahre nachdem Maxwells großes Werk „Treatise on electricity and magnetism" (1873) erschienen war, noch Zweifel an ihren Grundlagen bestehen konnten. Aber es ist doch ganz richtig, wenn J. Blanchard[12]) in seinem ausgezeichneten Aufsatz über die Entdeckung der elektrischen Wellen ausführt: "it was regarded by many as merely a speculation, by others as probably true and by none as conclusively proved." Das war damals sicher der Hauptgrund dafür, daß die Maxwellsche Theorie nur langsam Boden gewinnen konnte. Etwas Schuld daran hat wohl die Darstellung von Maxwell selbst getragen, die dem Verständnis nicht entgegenkam; die Form der Maxwellschen Gleichungen, die wir — abgesehen vom Koordinatensystem — jetzt gewöhnlich zu Grunde legen, ist diejenige, die ihnen Hertz gegeben hat[13]). Dazu kam, daß die meisten damals bekannten elektrodynamischen Erscheinungen durch die Vor-Maxwellschen Theorien befriedigend wiedergegeben wurden; man hat deshalb wohl dem Unterschied zwischen diesen und der Maxwellschen keine allzu große Bedeutung beigemessen und das Gefühl gehabt, daß sich darüber die Theoretiker unter sich einigen mögen.

Dieser Unterschied besteht bekanntlich in folgendem. Während die früheren Theorien nur ein induziertes *elektrisches* Feld kannten, das durch eine zeitliche Änderung eines magnetischen hervorgerufen wird und der Geschwindigkeit der Änderung desselben proportional ist, hat die Maxwellsche Theorie das dazu symmetrische *induzierte magnetische* Feld hinzugefügt, das durch die zeitliche Änderung eines elektrischen Feldes induziert werden und der Geschwindigkeit seiner Änderung proportional sein sollte. In dieser Proportionalität mit der Geschwindigkeit, mit der das induzierende elektrische Feld sich ändert, war es begründet, daß auf dem Gebiet der Schwingungen, das allein in Frage kam, das induzierte magnetische Feld nur dann maßgebende Stärke bekommt, wenn die Frequenz *sehr* hoch ist. Darin liegt der Schlüssel für das Verständnis von zwei Tatsachen. In der Zeit vor Hertz kannte man Schwingungen von so hoher Frequenz nicht; bei den meisten der damals bekannten Erscheinungen spielte deshalb das induzierte magnetische Feld nur eine geringe Rolle; das ist der Grund, warum die Vor-Maxwellschen Theorien die Beobachtungen genügend wiedergaben. Auf der anderen Seite konnte eine Entscheidung zwischen der Maxwellschen und den Vor-Maxwellschen Theorien nur der erbringen, der die Kunst beherrschte, Schwingungen sehr hoher Frequenz herzustellen. Darin liegt die Bedeutung der Hertzschen experimentellen Anordnungen und die *wesentliche* Bedeutung ihrer hohen Frequenz.

Unter den Folgerungen aus der Maxwellschen Theorie hat besonders *eine* großes Aufsehen erregt. Diese Theorie ergibt, daß die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit elektromagnetischer Wellen in einem homogenen isotropen Medium $= 1/\sqrt{\varepsilon\mu}$ sein muß, wenn ε bzw. μ die Dielektrizitätskonstante bzw. die Permeabilität des Mediums und das Maßsystem entsprechend gewählt ist. Das Produkt $\varepsilon \cdot \mu$ läßt sich durch Messungen, die nichts mit elektromagnetischen Wellen zu tun haben, bestimmen und es ergibt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Luft zu ungefähr 3.10^{10} cm/sec d. h. also gleich der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Lichtwellen. Die Gleichheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen und Lichtwellen hat sofort zu der Vermutung geführt, daß die beiden Wellenarten Erscheinungen derselben physikalischen Natur sein müssen, daß die Maxwellschen Gleichungen auch die optischen Vorgänge beherrschen. Dieser *„elektromagnetischen Lichttheorie"* haben die Versuche von Hertz einen mächtigen Auftrieb gegeben, indem sie experimentell zeigten, daß die kurzen elektromagnetischen Wellen wirklich alle Eigenschaften der Lichtwellen besitzen. Zur Zeit unmittelbar nach den Hertzschen Versuchen ist diese Bedeutung derselben besonders hoch eingeschätzt worden; darauf bezog sich auch der erwähnte Vortrag von Hertz auf der Naturforscherversammlung in Heidelberg. — —

Wenn man heute von Hertzschen Wellen spricht, so denkt man meist an ihre *praktische Verwendung für die drahtlose Telegraphie und Telephonie.* Hertz hat in seinen Arbeiten nie den Gedanken ausgesprochen, daß man die Wellen auch für irgend eine Art von Nachrichten-Übermittlung benützen könnte; er hatte sich ja nur aus wissenschaftlichen Gründen damit abgegeben. Aber angenommen, er hätte damals schon versucht, seine Anordnungen zur Nachrichten-Übermittlung zu

12) Proc. Institute of Radio Engineers 26 (1938) 505 und 515.
13) „Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper". Wied. Ann. 40 (1890) 577—624.

verwenden, so würde er damit nur sehr bescheidene Erfolge erzielt haben. Denn sein Empfänger war wohl geeignet für die Entfernungen seines Hörsaales, aber nicht für so große Entfernungen und demnach so schwache Felder, wie sie bei der praktischen Nachrichten-Übertragung in Frage kommen. Vermutlich war er sich darüber vollkommen klar und verzichtete darauf, auf die Möglichkeit der praktischen Verwendung seiner Wellen hinzuweisen, die damals doch nur Zukunftsmusik gewesen wäre. Als der junge Marconi 8 Jahre später seine Versuche begann, war die Situation eine ganz andere geworden: nun lag in dem Cohärer von Branly ein Detektor vor, der eine Empfindlichkeit von ganz anderer Größenordnung hatte als der Empfänger von Hertz.

Die Versuche von Marconi waren der Anfang jener Entwicklung, die auf der Grundlage der Hertzschen Entdeckung zu einer völligen Umgestaltung des ganzen Nachrichtenwesens geführt hat. Es ist ungemein interessant, diese Entwicklung einmal *im Verhältns zu den Hertzschen Versuchen* zu betrachten.

Hertz hat bei seinen Versuchen mit Wellenlängen zwischen ungefähr 7 m und 70 cm d. h. also schon mit Wellen gearbeitet, die man heute als *„Ultrakurzwellen"* bezeichnet. Sein Sender war ein symmetrischer Dipol mit einer Funkenstrecke und demnach gedämpften Schwingungen, seine Wellen pflanzten sich frei in der Luft fort. Als Marconi seine ersten erfolgreichen Versuche auf größere Entfernung machte, wich er davon insofern ab, als seine Antenne unten geerdet und seine Wellenlängen viel größer waren. Wer die Hertzschen Arbeiten kannte, war sich sofort darüber klar, daß diese Antenne nichts anderes als die eine Hälfte eines Hertzschen Dipols sei. Aber aus der Analogie mit den Hertzschen Versuchen zog man zwei falsche Schlüsse. Der erste war, daß die Reichweite der drahtlosen Telegraphie durch die optische Sichtweite begrenzt sein müsse, da ja gerade nach den Versuchen von Hertz die elektrischen Wellen sich wie Lichtwellen fortpflanzen. Der zweite, den man aus einer theoretischen Arbeit von Hertz über das Strahlungsfeld seines Dipols [14]) zog, war, daß die Verhältnisse um so günstiger werden müssen, mit je kürzeren Wellenlängen man arbeitet. Der Fehler bei beiden Schlüssen lag in der Vernachlässigung des Einflusses, den die leitende Erde auf die Wellenteile ausübt, die in horizontaler Richtung ausgestrahlt werden und sich nicht gradlinig fortpflanzen, sondern die leitende Erde als Führung benützen [15]) und durch sie eine Absorption erleiden. Die Versuche ergaben denn auch sehr rasch, daß für die Abnahme des elektrischen Feldes eines Senders die optische Sichtweite durchaus keine ausgezeichnete Rolle spielt und daß die Verhältnisse um so günstiger werden, je größer die Wellenlänge ist, da die Absorption an der Erde mit wachsender Wellenlänge abnimmt.

Die Erfahrung, daß die Reichweite immer weiter wuchs, je größer man die Kapazität und Höhe der Antenne machte, führte zu immer größeren Antennengebilden — diejenige der Langwellen-Station in Nauen hatte z. B. eine Länge von 1500, eine Breite von 1000 und die Türme eine Höhe von 260 m —; sie führte damit automatisch zu immer größeren Wellenlängen, die zum Teil 20 000 m überschritten, und auch zu immer größeren Leistungen, die viele Hundert Kilowatt betrugen. Man hatte sich damit jedenfalls in den Dimensionen von den Anordnungen von Hertz und auch von den ersten Anordnungen von Marconi weit entfernt und sich in das Gebiet der *Hochfrequenz-Großtechnik,* wenn man so sagen darf, begeben, das N. Tesla eröffnet und entwickelt hatte. Die verhältnismäßig geringen Frequenzen gestatteten, die gedämpften Schwingungen der Funkensender zu verlassen und die günstigeren ungedämpften von Maschinen-Sendern mit oder ohne Frequenz-Vervielfachung, ebenso von Lichtbogen- und später Röhren-Generatoren zu verwenden.

Aber nun erfolgte die Umkehr. Sie wurde eingeleitet durch die Beobachtung, daß bei Verwendung der empfindlichen Röhrenempfänger außerordentlich große Reichweiten zu erzielen seien mit Sendern von viel geringeren Ausmaßen, viel geringerer Leistung und viel geringerer Wellenlänge, als sie bis dahin üblich gewesen waren, wie man sie aber jetzt mit Röhrengeneratoren leicht erzeugen konnte. Daß man dabei, wenn es sich um einigermaßen große Entfernungen handelte, nicht die Mitwirkung des Erdbodens, sondern diejenige der hohen Atmosphärenschichten, der Ionosphäre, ausnützte, hatte man bald herausgefunden. Der *Kurzwellen*-Sender wurde der normale Sender für große Entfernungen.

Man hat in dieser rückläufigen Entwicklung nicht halt gemacht, sondern ist für viele Zwecke weiter gegangen zu den *Ultrakurzwellen* mit ihren symmetrischen Dipol-Sendern, die bei ihrer Ausbreitung weder von der Mitwirkung des Erdbodens noch von derjenigen der Ionosphäre Gebrauch machen, sondern sich, abgesehen von der unvermeidlichen Reflexion am Erdboden, im wesentlichen wie optische in der freien Luft ausbreiten. Und der Hauptgrund für ihre Verwendung ist die Möglichkeit, sie in bestimmten Richtungen auszusenden und nur die aus bestimmten Richtungen kommenden aufzunehmen, wie es Hertz mit seinen Hohlspiegeln schon getan hatte. Die experimentellen Hilfsmittel haben sich geändert, im Wesen der Sache ist man auf die Hertzschen Versuche zurückgekommen: sie haben auch in praktischer Beziehung ihre Lebenskraft bewiesen.

Das letzte Werk von Hertz waren seine *„Prinzipien der Mechanik"*.

Es ist sehr schwer, dieses Werk mit den anderen Arbeiten in Einklang zu bringen. Wohl besteht kein Zweifel, daß die Hertzsche Darstellung der Mechanik klar und vom logischen Standpunkt durchaus unanfechtbar ist. Aber sie ist auch in ihrer Allgemeinheit außerordentlich abstrakt und unanschaulich, wobei durch das Fehlen von Beispielen das Verständnis noch besonders erschwert wird. Man kann sich fragen, ob der komplizierte mathematische Apparat, mit dem Hertz natürlich doch nur zu den bekannten, durch die Erfahrung bestätigten Gesetze der Mechanik gelangen konnte, gerechtfertigt ist. Die bisherige Entwicklung hat diese Frage verneint.

Welche Gründe Hertz zu diesem Werk veranlaßt haben, ist nicht klar. Ob es damit zusammenhängt, daß er in seiner Originalität und wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit vielleicht doch schon den Höhepunkt überschritten hatte, ist schwer zu sagen. Gewiß ist, daß dieses Werk in eine Zeit fiel, in der er über Ermüdung und Mangel an Arbeitsfreudigkeit klagte und seine Krankheit schon ziemlich weit fortgeschritten war.

Die *Vielseitigkeit,* die sich in den wissenschaftlichen Arbeiten von Hertz ausspricht, kennzeichnete ihn schon als Schüler. Er war nicht nur ausgezeichnet in den mathematischen und naturwissenschaftlichen Fächern, sondern auch in Sprachen, von denen er außer den in der Schule gelehrten auch noch arabisch lernte; auch später benutzte er jede Gelegenheit, um sich im Umgang mit Ausländern Übung in modernen Sprachen zu verschaffen. Dazu kam die Beschäftigung mit Zeichnen, Modellieren, Mechanikerarbeit und Drechseln. Die gute Meinung, die alle seine Lehrer von ihm hatten, hat besonders hübsch sein Drechslermeister ausgedrückt.

[14]) „Die Kräfte elektrischer Schwingungen behandelt nach der Maxwell'schen Theorie", Wied. Ann. 36 (1889), 1—22.

[15]) Das Verhältnis der Entfernung Sender—Empfänger zur Wellenlänge lag damals im Gebiet der „Bodenwelle".

Als man ihm nach Jahren erzählte, daß Hertz Professor geworden sei, sagte er: „Ach wie schade, was wäre das für ein Drechsler geworden."

Als Physiker war er ein vorzüglicher *Experimentator* mit Lust und Liebe zum Experimentieren; er fühlte sich unglücklich, wenn er, wie in Kiel, keine Gelegenheit zum Experimentieren hatte oder wenn, wie zum Teil in Bonn, seine Versuche nicht gehen wollten. Seine experimentellen Anordnungen sind nicht nur außerordentlich geschickt, sondern auch von einer verblüffenden Einfachheit; dabei sind sicher die vielen Handfestigkeiten von Einfluß gewesen, die er sich in der Jugend angeeignet und durch die er einen Blick dafür bekommen hatte, wie man mit möglichst einfachen Mitteln seinen Zweck erreicht.

Geradezu ein Genuß für den Physiker sind die feinen Überlegungen in den experimentellen Arbeiten von Hertz. Als Beispiel sei nur *eine* erwähnt. Bei der Frage nach dem Durchgang der Kathodenstrahlen durch sehr dünne Metallschichten hing die ganze Beweiskraft der Versuche davon ab, ob diese Schichten nicht etwa kleine, mit dem Mikroskop nicht mehr sichtbare Löcher hatten, die die Kathodenstrahlen hindurchließen. Hertz machte nun folgendes: Er legte zwei solche dünne Metallschichten aufeinander und zeigte, daß die Kathodenstrahlen auch dann noch hindurchgingen. Nun wird man vielleicht denken: damit ist doch nichts gewonnen; wenn jede einzelne Schicht Löcher hat, so haben auch beide zusammen Löcher und die Kathodenstrahlen kommen nach wie vor durch dieselben hindurch. Diese Überlegung scheint einleuchtend, ist aber falsch. Die Bedingung dafür, daß die Kathodenstrahlen durch zwei Schichten hintereinander hindurchgehen, ist die, daß ein Loch in der einen Schicht genau an der entsprechenden Stelle eines Loches in der anderen liegt. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist tatsächlich so gering, daß der Fall nur ganz ausnahmsweise einmal eintreten wird.

Hertz war nicht nur ein ausgezeichneter Experimentator, sondern zweifellos auch einer der besten *Theoretiker* seiner Zeit. Trotz seiner Beherrschung der mathematischen Methoden war er kein Rechner, der die physikalischen Probleme nur als Vorwand für alle möglichen, mehr oder weniger nötigen Rechnungen benützte. Er war auch kein Theoretiker, der die Theorie um ihrer selbst willen betrieb, sondern er betrachtete theoretische und experimentelle Arbeit als zwei verschiedene Seiten derselben Sache. Daß ein Mann beide beherrschte, war schon damals nicht häufig. Bei Hertz hat die Vereinigung von Experiment und Theorie ausgezeichnete Früchte getragen, sowohl für seine experimentellen als für seine theoretischen Arbeiten. Ganz abgesehen davon, daß die Anregung zu seinen experimentellen Arbeiten über die elektrischen Wellen ja von der Theorie ausging, sieht man überall an der Klarheit der Fragestellung, an der Diskussion der Ergebnisse, an der Abschätzung der zu erwartenden Größen den Theoretiker. Und in seinen theoretischen Arbeiten fühlt man den Experimentator, dem es nicht genügt, irgend einen mathematischen Ausdruck als Lösung zu produzieren, sondern der zu einem greifbaren physikalischen Resultat gelangen will, das zum Vergleich mit den experimentellen Ergebnissen herangezogen oder als Führung für weitere physikalische Versuche dienen kann. In dieser Beziehung ist interessant ein Vergleich der Arbeit von Hertz über das elektromagnetische Feld seines Dipols und der entsprechenden Arbeit des ausgezeichneten Theoretikers M. Abraham[16]) über das Feld des linearen Senders. Hertz hat nach den Formeln, die er abgeleitet hatte, die elektrischen Kraftlinien des Feldes für vier Momente (Phasen) der Schwingungsperiode gezeichnet. Ein Blick auf die bekannten übersichtlichen Figuren zeigt jedem, wie das Feld aussieht und wie es sich während einer Periode verändert; diese Zeichnungen sind ungefähr in jedem Buch wiedergegeben, das von elektrischen Schwingungen handelt. Abraham hat sein Problem in elliptisch-hyperbolischen Koordinaten behandelt und sein Resultat waren Gleichungen in diesen Koordinaten; er hat sich damit begnügt. Das Problem war für den Theoretiker gelöst, obwohl nach seinem Resultat weder er selbst noch irgend jemand anders unmittelbar sagen konnte, wie die Kraftlinien des Feldes tatsächlich verlaufen.

Die *Darstellung* in den Veröffentlichungen von Hertz und auch in dem Vortrag bei der Naturforscher-Versammlung in Heidelberg ist besonders sympathisch. Dieser Vortrag und auch die meisten Arbeiten sind vor allem kurz. Seine Sprache ist immer einfach; die Vorstellung mancher moderner Schriftsteller, daß eine recht ungewöhnliche Ausdrucksweise eine hohe intellektuelle Leistung kennzeichne, teilte er augenscheinlich nicht. Immer sind die Hauptpunkte und die einzelnen Fragen

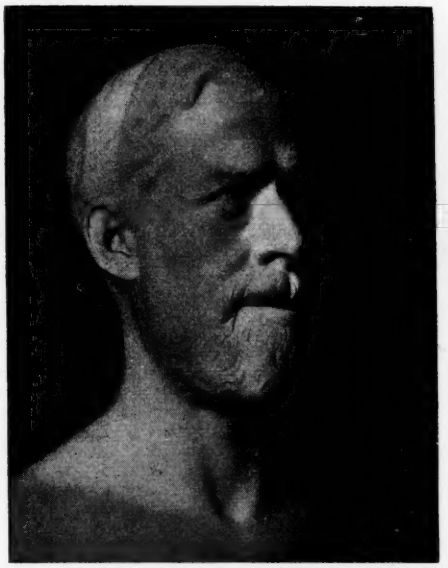


Fig. 3. Nach einer Büste im Ehrensaal des Deutschen Museums München.

klar hervorgehoben und die Beschreibung seiner Versuche und Ergebnisse ist so anschaulich, wie man es nicht oft bei Wissenschaftlern findet. Ich meine damit nicht nur, daß Hertz seine Anordnung und Ergebnisse meist durch gute Abbildungen illustrierte, ich meine damit auch seine plastische Art der Beschreibung, die wohl im Zusammenhang mit seiner Freude am Zeichnen und seiner Übung im Zeichnen steht.

Daß ein Mann von der Vielseitigkeit und Anschaulichkeit von Hertz ein guter *Lehrer* war, wird man von vornherein annehmen. v. Bjerknes, der im Institut von Hertz arbeitete, bezeugt es ausdrücklich. Er sagt: „Ich hörte nur ganz gelegentlich eine Vorlesung, habe aber immer in Erinnerung behalten die anregende Darstellung und den feinen Humor, die das Interesse der Zuhörer wach erhielten."

Über die *Persönlichkeit* von Hertz hat Hermann von Helmholtz, an dem Hertz während seines ganzen Lebens mit großer Verehrung hing und der seinerseits Hertz außerordentlich schätzte, in seiner Ein-

16) Wied. Ann. 66 (1898) 435—472.

leitung zu den Prinzipien der Mechanik von Hertz folgendes Urteil gefällt: „Heinrich Hertz hat sich durch seine Entdeckungen einen bleibenden Ruhm in der Wissenschaft gesichert. Sein Andenken wird aber nicht nur durch seine Arbeiten fortleben, auch seine liebenswürdigen Charaktereigenschaften, seine sich immer gleichbleibende Bescheidenheit, die freudige Anerkennung fremden Verdienstes, die treue Dankbarkeit, die er seinen Lehrern bewahrte, wird allen, die ihn kannten, unvergeßlich sein. Ihm selbst war es nur um die Wahrheit zu tun, die er mit äußerstem Ernst und mit aller Anstrengung verfolgte; nie machte sich die geringste Spur von Ruhmsucht oder persönlichem Interesse bei ihm geltend. Auch da, wo er einiges Recht gehabt hätte, Entdeckungen für sich in Anspruch zu nehmen, war er eher geneigt, stillschweigend zurückzutreten. Im ganzen still und schweigsam, konnte er doch heiter an fröhlichem Freundeskreis teilnehmen und die Unterhaltung durch manches treffende Wort beleben. Er hat wohl nie einen persönlichen Gegner gehabt, obgleich er gelegentlich über nachlässig gemachte oder renommistisch auftretende Bestrebungen, die sich für Wissenschaft ausgaben, ein scharfes Urteil fällen konnte." Ein ausdrucksvoller Beweis für seinen sympathischen Charakter, in dem die Anhänglichkeit an seine Eltern besonders hervortritt, ist das Buch „Heinrich Hertz, Erinnerungen, Briefe, Tagebücher" [17]), in dem seine ältere Tochter das Andenken an ihren Vater festgehalten hat.

Die Original-Apparate von Hertz, die sich im Deutschen Museum befinden, haben den Krieg unbeschädigt überstanden, ebenso auch die Büste (Fig. 3), die seine jüngere Tochter geschaffen und die schon im Jahre 1917 ihren verdienten Platz im Ehrensaal des Deutschen Museums gefunden und seitdem bewahrt hat.

[17]) Hanna Hertz, „Heinrich Hertz' Erinnerungen, Briefe, Tagebücher", Akadem. Verlagsgesellschaft Leipzig (1927).

Persönliche Erinnerungen aus alten Zeiten.

Von MAX PLANCK.

Einer Aufforderung der Redaktion der „Naturwissenschaften" folgend, bin ich gern bereit, einige Eindrücke wiederzugeben, welche mir eine Anzahl bedeutender, nunmehr längst verstorbener Fachgenossen hinterließ, mit denen ich während meiner ersten Lebenshälfte in Berührung kam. Freilich verfüge ich leider nicht über irgendwelche handschriftlichen Aufzeichnungen, Tagebuchblätter oder dergleichen (dies ist alles im letzten Kriege verbrannt), und wäre daher ausschließlich auf mein Gedächtnis angewiesen, wenn ich nicht einen Teil meiner persönlichen Erinnerungen bereits bei früheren Anlässen zusammengestellt hätte[1]). Erfreulicherweise ist es mir aber möglich, diese Aufzeichnungen noch in manher Hinsicht zu ergänzen; vor allem handelt es sich dabei um einzelne Erinnerungsbilder, die sich mir fest eingeprägt haben, so daß sie auch jetzt noch ganz deutlich vor meinem geistigen Auge stehen.

Mit der Physik kam ich zu allererst in Berührung am Münchener Maximilians-Gymnasium durch meinen Mathematiklehrer HERMANN MÜLLER, einen mitten im Leben stehenden, scharfsinnigen und witzigen Mann, der es verstand, die Bedeutung der physikalischen Gesetze, die er uns Schülern beibrachte, durch drastische Beispiele zu erläutern.

So kam es, daß ich als erstes Gesetz, welches unabhängig vom Menschen eine absolute Geltung besitzt, das Prinzip der Erhaltung der Energie wie eine Heilsbotschaft in mich aufnahm. Unvergeßlich ist mir die Schilderung, die MÜLLER uns als Beispiel der potentiellen und der kinetischen Energie zum besten gab, von einem Maurer, der einen schweren Ziegelstein mühsam auf das Dach eines Hauses hinaufschleppt. Die Arbeit, die er dabei leistet, geht nicht verloren: sie bleibt unversehrt aufgespeichert, jahrelang, bis vielleicht eines Tages der Stein sich löst und einem vorübergehenden Menschen auf den Kopf fällt.

Nach Absolvierung des Gymnasiums studierte ich zunächst 3 Jahre (1875—1877) an der Universität München. Mein akademischer Lehrer in Physik war PHILLIPP VON JOLLY, dessen Name auch jetzt noch durch das von ihm angegebene Gasthermometer konstanten Volumens bekannt ist. Sein Hauptinteresse widmete er damals Messungen über die Abnahme der Schwerkraft mit der Entfernung vom Erdmittelpunkt. Zu diesem Zweck konstruierte er eine Waage von höchster Empfindlichkeit, doch gelang es ihm nicht, die zahlreichen, die Messung beeinträchtigenden Nebeneinflüsse wie Temperatur, Feuchtigkeit usw. zu eliminieren, so daß diese Versuche zu keinen positiven Ergebnissen führten. Trotzdem brachte HELMHOLTZ den Messungen lebhaftes Interesse entgegen; als er München einmal besuchte, ließ er sich die Versuchsanordnung in allen Einzelheiten zeigen. Ich selbst war bei dieser Vorführung zugegen; es war wohl das erste Mal, daß ich mit HELMHOLTZ persönlich in Berührung kam. JOLLYs Vorlesungen hinterließen keinen allzu starken Eindruck, zumal er langsam und leise vortrug. Dagegen förderte er seine Schüler sehr durch die praktische Ausbildung, die sie in seinem Institut genossen. In persönlicher Hinsicht erinnere ich mich JOLLYs als eines vielseitig gebildeten, geistvollen Mannes. Als leidenschaftlicher Raucher legte er Wert darauf, nach einem guten Diner rechtzeitig eine Zigarre angeboten zu erhalten, und pflegte eine humorvolle „Zigarrenrede" zu halten, wenn man ihn warten ließ.

Die Atmosphäre des JOLLYschen Institutes hatte zur Folge, daß ich mich angeregt fühlte, selbständig einige Versuche anzustellen. Beispielsweise schien es mir wichtig, festzustellen, ob den von den Theoretikern bereits damals zu ihren Gedankenexperimenten benutzten halbdurchlässigen Wänden eine reale physikalische Bedeutung zukommt. Als halbdurchlässige Wand benutzte ich eine an ein Gasrohr angeschlossene Platinkuppe, die mittels einer Gasflamme zum Glühen gebracht wurde. Zu meiner Befriedigung stellte ich fest, daß dieses Material tatsächlich Wasserstoff verhältnismäßig leicht durchtreten läßt, während andere Gase vollkommen zurückgehalten werden. Später hat ja bekanntlich Halbdurchlässigkeit erwärmten Platins (und Palladiums) Wasserstoff gegenüber bei zahlreichen physikalischen und physikalisch-chemischen Versuchen praktische Verwendung gefunden.

Ein Lehrstuhl „Theoretische Physik" existierte damals in München, wie an den meisten deutschen Universitäten, noch nicht.

Meine mathematische Ausbildung verdanke ich den Professoren LUDWIG SEIDEL und GUSTAV BAUER. SEIDEL war eigentlich Astronom und ist durch die ersten von ihm ausgeführten genaueren photometrischen Messungen der Helligkeit an Planeten und Fixsternen bekannt geworden. Durch diese Messungen hatte er sich leider frühzeitig die Augen vollkommen verdorben. Ich habe

[1]) Ansprache anläßlich der Feier des 90. Gründungstages der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (Verh. d. D. Physik. Ges. (3) 16, 11 (1935); wissenschaftliche Selbstbiographie, verfaßt für die kaiserl.-leopoldinisch-karolingische deutsche Akademie der Naturforscher, bisher unveröffentlicht.

ihn als einen geistreichen Mann und ausgezeichneten akademischen Lehrer in Erinnerung, der in seinen Vorträgen nach Möglichkeit an das anzuknüpfen pflegte, was ein Unbefangener denkt. Einmal sagte er zu mir: „Es ist merkwürdig: Im Elementarunterricht beim Rechnen fängt man mit dem Addieren an; erst später kommt man zum Subtrahieren. In der höheren Mathematik dagegen beginnt man in der Infinitesimalrechnung bei der Bildung des Differentialquotienten mit einer Subtraktion, und dann erst kommt man bei der Integration zur Addition."

Besonders viel habe ich bei BAUER gelernt, vor allem in seinem ausgezeichneten mathematischen Seminar, das ich drei Jahre lang besuchte. Auch die Vorlesungen BAUERs waren klar und überzeugend, obgleich er etwas stockend sprach und nicht im üblichen Sinne als guter Vortragender gelten konnte. Auf meine wissenschaftliche Entwicklung übte er einen entscheidenden Einfluß aus, da er es war, der in mir die eigentliche Begeisterung für die höhere Mathematik und deren Denkmethoden erweckte.

Merkwürdigerweise stehen meine eigenen Erfahrungen über den Münchener Mathematikunterricht zur damaligen Zeit in einem gewissen Gegensatz zu denen HEINRICH HERTZ', der etwa gleichzeitig mit mir in München studierte. HERTZ kritisiert nämlich in den an seine Eltern gerichteten Briefen[2]) die Münchener mathematischen Vorlesungen im ganzen ungewöhnlich abfällig; doch schreibt er, glücklicherweise hielte ein junger Privatdozent, ALFRED PRINGSHEIM, ausgezeichnete, wenn auch nicht gerade leicht verständliche Vorlesungen, in denen er sehr viel lerne. Auch mir ist PRINGSHEIM noch aus der Zeit meines späteren Münchener Aufenthaltes in Erinnerung, vor allem als witziger Gesellschafter; doch habe ich keine Vorlesungen bei ihm gehört. Umgekehrt scheint HERTZ höchstens vorübergehend zu Beginn des Semesters einige Vorlesungen bei BAUER gehört zu haben und ist ihnen dann vielleicht wegen ihrer etwas unzulänglichen äußeren Form bald ferngeblieben. Hätte er an dem Seminar BAUERS teilgenommen, in dem wir uns dann bereits in München kennengelernt hätten, so wäre sein Urteil über den dortigen Mathematikunterricht zweifellos günstiger ausgefallen.

Im Frühjahr verließ ich München für zwei Semester, um meine Studien in Berlin fortzusetzen, wo sich unter den Auspizien von HERMANN VON HELMHOLTZ und GUSTAV KIRCHHOFF, deren bahnbrechende, in der ganzen Welt Beachtung findende Arbeiten ihren Schülern leicht zugänglich waren, mein wissenschaftlicher Horizont beträchtlich erweiterte. Allerdings muß ich gestehen, daß mir die Vorlesungen keinen merklichen Gewinn brachten. HELMHOLTZ hatte sich offenbar nie richtig vorbereitet. Er sprach immer nur stockend, wobei er in einem kleinen Notizbuch sich die nötigen Daten heraussuchte, außerdem verrechnete er sich beständig an der Tafel, und wir hatten das Gefühl, daß er sich selber bei diesem Vortrag mindestens ebenso langweilte wie wir. Die Folge war, daß die Hörer nach und nach wegblieben; schließlich waren es nur noch drei, mich und meinen Freund, den späteren Astronomen RUDOLF LEHMANN-FILHES eingerechnet.

Im Gegensatz dazu trug KIRCHHOFF ein sorgfältig ausgearbeitetes Kolleg frei vor, wobei jeder Satz wohlerwogen an seiner richtigen Stelle stand. Kein Wort zu wenig, kein Wort zu viel. Aber das Ganze wirkte wie auswendig gelernt, trocken und eintönig. Die Studenten lauschten wie einem Orakel; keiner hätte gewagt, irgendetwas anzuzweifeln. Infolgedessen lernten wir aber nicht viel dabei — denn man lernt nur, indem man sich Fragen stellt.

Die stärksten wissenschaftlichen Anregungen empfing ich in dieser Zeit durch die Veröffentlichungen von R. CLAUSIUS in Bonn, insbesondere durch dessen Werk über „Die mechanische Wärmetheorie". Manche Punkte in dieser Theorie erschienen mir indessen noch ergänzungsbedürftig, vor allem hielt ich es für nötig, die Begründung des zweiten Hauptsatzes noch zu vertiefen. Als ich glaubte, durch meine eigenen Überlegungen auf diesem Gebiet einen Fortschritt erzielt zu haben, stellte ich meine Ergebnisse zusammen und reichte die Arbeit in München, wohin ich inzwischen zurückgekehrt war, als Doktordissertation[3]) ein. Die mündliche Doktorprüfung fand am 28. 6. 1879 statt. Der damalige Vorsitzende der Prüfungskommission war LUDWIG SEIDEL; geprüft wurde ich in den Fächern Physik (von JOLLY), Mathematik (von GUSTAV BAUER), Chemie (von A. VON BAEYER) und Philosophie. JOLLY richtete an mich sehr leichte Fragen. Auch die Fragen VON BAEYERs waren mühelos zu beantworten; doch habe ich gerade diese Prüfung in wenig angenehmer Erinnerung, da er mich ziemlich schnöde behandelte und durchblicken ließ, daß er die theoretische Physik für ein vollkommen überflüssiges Fach hielt. An die mündliche Prüfung schloß sich dann, den damaligen Bestimmungen entsprechend, die feierliche Promotion an, in welcher vom Doktoranden einige von ihm aufgestellte Thesen zu verteidigen waren. Meine Opponenten, mit denen ich natürlich, wie es üblich war, bereits vorher eine freundschaftliche Vereinbarung getroffen hatte, waren der Physiker CARL RUNGE und der Mathematiker ADOLF HURWITZ.

Bereits ein Jahr nach der Promotion erfolgte meine Zulassung in München als Privatdozent. In der Habilitationsschrift, die den Titel trug: „Gleichgewichtszustände isotroper Körper", wurden die allgemeinen Ergebnisse der Doktordissertation zur Lösung einer Reihe konkreter thermodynamischer (speziell physikalisch-chemischer) Probleme herangezogen.

Nicht ohne Enttäuschung mußte ich feststellen, daß der Eindruck meiner Doktordissertation wie auch meiner Habilitationsschrift in der damaligen physikalischen Öffentlichkeit gleich null war. Von meinen Universitätslehrern hatte, wie ich aus Gesprächen mit ihnen genau weiß, keiner ein Verständnis für ihren Inhalt. Sie ließen die Arbeiten wohl nur deshalb passieren, weil sie mich von meinen sonstigen Arbeiten im physikalischen Praktikum und im Mathematischen Seminar her kannten. Aber auch bei den Physikern, welche dem Thema an sich näher standen, fand ich kein Interesse, geschweige denn Beifall. HELMHOLTZ hat die Schrift wohl überhaupt nicht gelesen. KIRCHHOFF lehnte ihren Inhalt ausdrücklich ab, mit der Bemerkung, daß der Begriff der Entropie, deren Größe nur durch einen reversiblen Prozeß meßbar und daher auch definierbar sei, nicht auf irreversible Prozesse angewendet werden dürfe. An CLAUSIUS gelang es mir nicht heranzukommen; auf Briefe antwortete er nicht, und ein Versuch, mich ihm in Bonn persönlich vorzustellen, führte zu keinem Ergebnis, weil ich ihn nicht zu Hause antraf. Mit CARL NEUMANN in Leipzig führte ich über dieses Thema eine Korrespondenz, die völlig ergebnislos verlief.

Einen Lichtstrahl in dieser thermodynamischen Dunkelheit glaubte ich nun darin zu erblicken, daß die Göttinger philosophische Fakultät eine Preisaufgabe über das Thema: „Das Prinzip der Erhaltung der Energie" ausschrieb. Ich entschloß mich daher, mich an diesem Wettbewerb zu beteiligen und arbeitete eine kleine Schrift aus, die später der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wurde. In Göttingen wurde meiner Arbeit der zweite Preis zuerkannt. Außer meiner Bearbeitung

[2]) HEINRICH HERTZ, Erinnerungen, Briefe, Tagebücher, zusammengestellt von Dr. JOHANNA HERTZ.

[3]) Über den zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie, München (1879).

der Aufgabe waren noch zwei andere eingegangen, welche nicht gekrönt wurden. Auf die einigermaßen naheliegende Frage, weshalb meine Arbeit es nicht bis zum ersten Preis brachte, suchte und fand ich die Antwort in dem ausführlichen Urteil der Göttinger Fakultät. Nach einigen minder ins Gewicht fallenden Bemängelungen heißt es dort: „Die Fakultät muß endlich den Bemerkungen, durch welche sich der Verfasser mit dem „WEBERschen Gesetz" abzufinden sucht, ihre Zustimmung versagen". Mit diesen Bemerkungen hatte es folgende Bewandtnis: WILHELM WEBER war der Göttinger Professor der Physik, und es bestand damals zwischen WEBER und HELMHOLTZ eine scharfe wissenschaftliche Kontroverse, in welcher ich mich ausdrücklich auf die Seite von HELMHOLTZ stellte. Ich glaube mich nicht zu irren, wenn ich in diesem Umstand den Hauptgrund sehe, weshalb die Göttinger Fakultät mir den ersten Preis verweigerte.

Durch die Schrift, in welcher ich eine Anzahl von Aufsätzen unter dem gemeinsamen Titel: „Über das Prinzip der Vermehrung der Entropie" während meines Kieler Aufenthaltes (1885—1889) veröffentlichte, geriet ich in eine wenig erfreuliche briefliche Kontroverse mit dem bekannten schwedischen Physiko-Chemiker SVANTE ARRHENIUS. In der erwähnten Schrift wurden die Gesetze des Eintritts chemischer Reaktionen, sowie der Dissoziation von Gasen, und schließlich die Eigenschaften verdünnter Lösungen behandelt. Bezüglich der letzteren führte meine Theorie zu dem Schluß, daß die bei vielen Salzlösungen beobachteten Werte der Gefrierpunktserniedrigung nur durch eine Dissoziation der gelösten Stoffe erklärt werden können, und daß hiermit eine thermodynamische Begründung der ungefähr gleichzeitig von SVANTE ARRHENIUS aufgestellten elektrolytischen Dissoziationstheorie gegeben sei. ARRHENIUS bestritt nun in ziemlich unfreundlicher Weise die Zulässigkeit meiner Beweisführung, indem er hervorhob, daß seine Hypothese sich auf Jonen, also auf elektrisch geladene Teilchen bezieht, worauf ich nur erwidern konnte, daß die thermodynamischen Gesetze unabhängig davon gelten, ob die Teilchen geladen sind oder nicht.

Im Frühjahr 1889, nach dem Tode von KIRCHHOFF, wurde ich auf Vorschlag der Berliner philosophischen Fakultät als dessen Nachfolger zur Vertretung der theoretischen Physik an die Universität berufen, zuerst als Extraordinarius, von 1892 ab als Ordinarius. Das waren die Jahre, in denen ich wohl die stärkste Erweiterung meiner ganzen wissenschaftlichen Denkweise erfuhr. Denn nun kam ich zum ersten Male in nähere Berührung mit den Männern, welche damals die Führung in der wissenschaftlichen Forschung der Welt inne hatten. Es war für mich ein Ereignis von großer Bedeutung, als ich HERMANN VON HELMHOLTZ, den ich nach seinen Werken schon so viele Jahre lang verehrt hatte, nun auch menschlich näher treten konnte, ich sehe darin eine der wertvollsten Bereicherungen meines Lebens. Denn in seiner ganzen Persönlichkeit, seinem unbestechlichen Urteil, seinem schlichten Wesen, verkörperte sich die Würde und Wahrhaftigkeit seiner Wissenschaft. Dazu gesellte sich eine menschliche Güte, die mir tief zu Herzen ging. Wenn er mich im Gespräch mit seinem ruhig und eindringlich forschenden und doch im Grunde wohlwollenden Auge anschaute, dann überkam mich ein Gefühl grenzenloser kindlicher Hingabe, ich hätte ihm ohne Rückhalt alles, was mir am Herzen lag, anvertrauen können, in der festen Zuversicht, daß ich in ihm einen gerechten und milden Richter finden würde, und ein anerkennendes oder gar lobendes Wort aus seinem Munde konnte mich mehr beglücken als jeder äußere Erfolg. — Ein paar Mal ist mir etwas derartiges passiert. Dazu zähle ich den betonten Dank, den er mir in der Physikalischen Gesellschaft nach meiner Gedächtnisrede auf HEINRICH HERTZ Anfang 1894 aussprach, oder die Zustimmung zu meiner Theorie der Lösungen, die er mir kurz vor meiner Erwählung in die Preußische Akademie der Wissenschaften äußerte. Jedes dieser kleinen Erlebnisse bewahre ich in meinem Gedächtnis wie einen unverlierbaren Schatz für mein ganzes Leben.

Zu wiederholten Malen ward es mir vergönnt, an den geselligen Veranstaltungen der Familie HELMHOLTZ teilzunehmen, bei denen sich ein Kreis erlesener Männer und Frauen und Vertreter der Wissenschaft und der Kunst des Abends zusammenfand. Unvergeßlich ist mir der Abend, als ich zum ersten Male JOSEPH JOACHIM die von ihm bearbeiteten, damals neu erschienenen Ungarischen Tänze von Brahms spielen hörte, oder auch, als MARIANNE BRANDT mit dem Baritonisten OBERHAUSER Wotans Abschied aus der Walküre vortrug — natürlich bei einer anderen Gelegenheit. Denn damals gingen die Wogen in dem Streit hie Wagner, - hie Brahms noch sehr hoch; aber sie reichten doch nicht hinauf bis zum Standpunkt von HELMHOLTZ, der auch in der Kunst allem Dogmatischen abhold war, und das Schöne und Echte anerkannte, wo er es antraf.

Die Seele der Unterhaltungen bei solchen Abenden war die Frau des Hauses, die auch die Erfüllung der repräsentativen Pflichten auf sich nahm, während ihr Gatte sich mehr zwanglos bewegte. Es hatte etwas Eigenartiges, zu beobachten, wie dieser überlegene Geist und berühmte Gelehrte für jeden, ob vornehm oder gering, ein freundliches Wort übrig hatte. Das gleiche Wohlwollen zeigte er einem jeden gegenüber, der mit einer wissenschaftlichen Frage zu ihm kam, selbst wenn diese reichlich naiv war, sobald er nur bemerkte, daß es ihm ernstlich um die Sache zu tun war. Als ein Beispiel dafür ist mir ein kleiner Vorfall in der Erinnerung haften geblieben, den er mir seinerzeit mitgeteilt hat. Unter seinen Zuhörern an der Universität befand sich auch ein eigenartiger, etwas phantastisch veranlagter Student, der zu der Erkenntnis gekommen zu sein glaubte, daß der Satz von der Erhaltung der Kraft unrichtig sei, und der infolgedessen das Bedürfnis empfand, seine Entdeckung den berufenen Vertretern der Wissenschaft mitzuteilen. Zuerst wandte er sich an den damaligen Direktor des Physikalischen Institutes, AUGUST KUNDT, der aber in seiner praktischen Art kurzen Prozeß machte und ihn ohne weitere Umstände abwies. Darauf sprach er bei HELMHOLTZ vor. Dieser ließ ihn freundlich ein, hörte ihm geduldig von Anfang bis zu Ende an, und nahm sich dann die Mühe, durch sachliches Eingehen auf seine Gedankengänge ihn von der Lückenhaftigkeit derselben zu überzeugen. Erst als der junge Mann, durch solch wohlwollende Aufnahme sicherer geworden, anfing, sich unpassend über die Person seines Kollegen KUNDT zu äußern, fand er Worte scharfen Tadels und brach die Unterredung ab, vielleicht mit einem Gefühl der Erleichterung, daß er auf diese Weise dem Gespräch ein Ende machen konnte.

Die vornehme Zurückhaltung, die HELMHOLTZ im Verkehr mit seiner Umgebung übte, ist ihm gelegentlich als ein Mangel an Gutmütigkeit, wohl auch als eine Art von Hochmut ausgelegt worden. Nichts kann verkehrter sein als eine solche Beurteilung. Auch dafür möchte ich einen Beleg anführen, eine Bemerkung von ihm, die mir KUNDT gelegentlich wiedererzählte. Dieser hatte sich einmal in einem Gespräch mit HELMHOLTZ darüber beklagt, daß es ihm in seinem neuen Berliner Wirkungskreis so außerordentlich schwer falle, zum ruhigen Arbeiten zu kommen, da unablässig von den verschiedensten Seiten Anforderungen aller Art an seine Zeit und Kraft gestellt würden. Darauf erwiderte ihm HELMHOLTZ in seiner ruhigen Weise: „Ja, Herr Kollege, das verstehe ich nach meinen eigenen Erfahrungen

vollkommen. Gegen diesen Übelstand gibt es nur ein einziges Mittel. Sie müssen vornehm werden." Damit hatte er die eine wirksame Schutzwaffe bezeichnet, die ihm, dem gutherzigsten Mann, in der Abwehr gegen lästige Zudringlichkeit zur Verfügung stand.

Außer mit HELMHOLTZ kam ich auch mit AUGUST KUNDT und mit WILHELM VON BEZOLD, den ich schon von München her kannte, schnell in ein näheres Verhältnis. Es ist wohl kaum ein größerer Gegensatz denkbar als zwischen dem sprudelnd lebhaften, schnell zur Äußerung seiner Empfindungen bereiten, neuen Bekanntschaften sich leicht aufschließenden KUNDT, und dem bedächtigen, jede ihm vorgelegte Frage mit sachlicher Gründlichkeit prüfenden und neben der einen Seite einer Sache stets auch die entgegengesetzte gewissenhaft würdigenden HELMHOLTZ'. Feurig, temperamentvoll, sprühend von Witz und Verstand, übte KUNDT auf seine Mitarbeiter und Schüler eine hinreißende Wirkung aus und begeisterte sie für die Wissenschaft der Physik. Er hatte sich von Straßburg einige Assistenten mitgebracht: BLASIUS, ARONS, RUBENS, die alle in aufrichtiger Verehrung an ihm wie an einem Vater hingen und mit denen er im Tone echter Kameradschaft verkehrte, ohne jemals die geziemende Autorität preiszugeben. Im Anschluß an Sitzungen der Physikalischen Gesellschaft pflegte er gern bei einem Glase Bier mit den jungen Fachgenossen zwanglos zu plaudern, namentlich auch über physikalische Probleme. KUNDT war eine FARADAYsche Natur, er suchte gerne nach neuen Effekten. So prüfte er u. a. die Frage, ob das Gewicht eines Kristalls verschieden ist, je nachdem seine Hauptachse vertikal oder horizontal liegt, oder ob die absolute Größe des Potentials einen physikalischen Sinn hat. Natürlich wurden solche Messungen sehr diskret behandelt; nur die Nächststehenden erfuhren davon. —

WILHELM VON BEZOLD war ein reger und feinsinniger Kopf, in seiner amtlichen Stellung Meteorologe, da er zur Organisation des Wetterdienstes in Preußen aus München nach Berlin berufen worden war, aber, wie er selber sagte, in seinem Herzen viel mehr der Physik ergeben, zu der er eine Art unglücklicher Liebe hatte. Denn in München ließ ihn BEETZ nicht recht aufkommen, und in Berlin konnte er nur verhältnismäßig wenig Zeit der geliebten Wissenschaft widmen. Man kann ihn in gewissem Sinne als Vorläufer von HEINRICH HERTZ betrachten, da er schon mehrere Jahre vor diesem auf gewisse Schwingungserscheinungen bei der Funkenentladung gekommen war, und er empfand es mit Stolz, daß HERTZ im zweiten Band seiner Gesammelten Werke[4]) eine früher von ihm übersehene Arbeit BEZOLDs: „Untersuchungen über elektrische Entladungen" als eine Art Wiedergutmachung vollständig mitabgedruckt hat.

Nicht so leicht gelang es mir mit den anderen älteren Physikern des damaligen Berliner Kreises in ein engeres persönliches Verhältnis zu treten. Unter diesen nenne ich vor allem ADOLF PAALZOW, den Ordinarius an der Technischen Hochschule Charlottenburg, einen gediegenen Experimentator, der in seinem ganzen Wesen ein echter Berliner war. Er behandelte mich stets sehr freundlich, doch hatte ich immer das Gefühl, daß er mich eigentlich für ziemlich überflüssig hielt. Ich war eben damals weit und breit der einzige Theoretiker, gewissermaßen ein Physiker sui generis, was mir den Einstand nicht ganz leicht machte. Ich glaubte auch deutlich zu spüren, daß mir die Herren Assistenten am Physikalischen Institut mit einer gewissen betonten Zurückhaltung begegneten. Doch mit der Zeit, als wir uns näher kennen lernten, kamen wir uns näher, und mit einem derselben, HEINRICH RUBENS, hat mich später durch viele Jahre hindurch bis zu seinem frühzeitigen Tode herzliche Freundschaft verbunden.

Zu dem Kreise der Berliner Physiker war auch der bedeutende Physiologe EMIL DU BOIS-REYMOND zu rechnen, der noch an der Gründung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (1845) teilgenommen hatte, und dessen lebhaftes Interesse für physikalische Probleme bis zu seinem Tod (1896) lebendig blieb. Sein Bild steht noch deutlich vor mir als eine autoritative Persönlichkeit: korrekt, kritisch, mit ausgeprägtem Formensinn und hervorragender rhetorischer Gewandtheit. Es war mit ihm nicht gut Kirschen essen, denn er duldete nicht leicht einen Widerspruch. Die mechanische Theorie, an ihrer Spitze das erst vor einem Menschenalter entdeckte Prinzip der Erhaltung der Energie, war für ihn der endgültige Schlußstein der theoretischen Physik. Insbesondere galt sein Kampf schon den damals sich regenden Neovitalisten, denen er mit allen Waffen seiner geistreichen Dialektik zu Leibe ging. In unmittelbare Berührung mit DU BOIS-REYMOND kam ich im Frühjahr 1890, als ich in der Berliner Physikalischen Gesellschaft meinen ersten Vortrag über Potentialdifferenzen zweier Elektrolyte hielt. Kurz vorher hatte NERNST seine grundlegende Theorie der Elektrizitätserregung in Elektrolyten aufgestellt, und ich hatte aus dieser Theorie eine allgemeine Formel für die Potentialdifferenz abgeleitet, die die vorliegenden Messungen gut wiedergab. Als mir nun Herr Kollege NERNST in einem freundlichen Brief aus Göttingen die Resultate einiger neuer Messungen mitteilte, und diese sich ebenfalls aufs beste in meine Formel einfügten, war ich meiner Sache sicher, und hoffte nun, mich mit meinem Vortrag recht vorteilhaft in die Physikalische Gesellschaft einzuführen. Es sollte freilich etwas anders kommen. Den Vorsitz an dem Abend führte DU BOIS-REYMOND. Nachdem ich meinen Vortrag beendet und die Tafel vollgeschrieben hatte, meldete sich in der Diskussion niemand zum Wort. Daher machte der Vorsitzende selber einige Bemerkungen, die aber im wesentlichen auf eine ziemlich scharfe Kritik hinausliefen. Die Übereinstimmung der gemessenen und der berechneten Zahlen könne doch wohl auf einem Zufall beruhen, denn die Grundlage dieser ganzen Theorie scheine ihm doch sehr unsicher. Besonders die Vorstellung, daß z. B. in einer Kochsalzlösung freie Natriumatome sich herumbewegen, sei für jeden, der etwas chemisch denken könne, geradezu unannehmbar. Überhaupt: Der sogenannte osmotische Druck, der sich in konzentrierten Lösungen nach Atmosphären bemißt, müßte doch eigentlich jedes Reagenzglas sprengen. Das Einzige, was ihm an der Theorie offenbar gefiel, war der Umstand, daß die Potentialdifferenz zwischen einem Elektrolyten und reinem Wasser sich in ihr als unendlich groß ergibt. Denn bei seinen eigenen Messungen habe er für diese Potentialdifferenz keinen bestimmten Wert feststellen können; sie wäre im allgemeinen um so größer ausgefallen, je reiner das benutzte Wasser gewesen wäre. Das war nun im ganzen genommen eine kalte Dusche auf meine glühende Begeisterung. Ich ging etwas bedrückt nach Hause, tröstete mich aber bald in dem Gedanken, daß eine gute Theorie sich auch ohne geschickte Propaganda durchsetzen werde. Das ist natürlich auch in diesem Falle geschehen, obwohl es in Berlin noch einige Jahre dauerte. Denn hier hatte die neu aufstrebende physikalische Chemie, vor der erst 1905 erfolgten Berufung NERNSTs keinen rechten Vertreter. LANDOLT war schon zu alt; der einzige an der neuen Entwicklung teilnehmende Physiko-Chemiker war der Privatdozent HANS JAHN (1906), mit dem ich auch persönlich infolge seines warmherzigen Wesens

[4]) Über die Ausbreitung der elektrischen Kraft.

und seiner künstlerischen Interessen nahe Beziehungen hatte. JAHN war nicht nur ein ausgezeichneter Experimentator, der seine Messungen mit vorbildlicher Sorgfalt durchführte, sondern als ein Schüler BOLTZMANNs auch ein vielseitiger und feingebildeter Theoretiker. Seine eigenen Schüler, die er geradezu väterlich betreute, hingen mit größter Liebe und Verehrung an ihm.

Aber nicht nur mit den in Berlin ansässigen, sondern auch einer Anzahl auswärtiger Kollegen trat ich damals in einen anregenden Gedankenaustausch. Meinen Briefwechsel mit W. NERNST erwähnte ich bereits.

Anknüpfend an die Probleme der elektrischen Dissoziationstheorie entwickelte sich bald auch ein ausgedehnter Briefwechsel mit WILHELM OSTWALD in Leipzig, der zu mancherlei kritischen, aber immer im freundschaftlichen Ton geführten Auseinandersetzungen Anlaß gab. OSTWALD, der seiner Natur nach stark zum Systematisieren neigte, unterschied drei Arten der Energie, entsprechend den drei Raumdimensionen: die Distanzenergie, die Oberflächenenergie und die Raumenergie. Die Distanzenergie, sagte er, sei die Gravitation, die Oberflächenenergie sei die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit, die Raumenergie sei die Volumenenergie. Darauf erwiderte ich u. a., daß es keine Volumenenergie im OSTWALDschen Sinne gibt. Bei einem idealen Gas zum Beispiel hängt die Energie sogar überhaupt nicht vom Volumen ab, sondern nur von der Temperatur. Läßt man ein ideales Gas sich ohne äußere Arbeitsleistung ausdehnen, so vergrößert sich das Volumen, aber die Energie bleibt unverändert, während nach OSTWALD die Energie sich vermindern müßte, entsprechend der Verminderung des Druckes.

Eine andere Kontroverse ergab sich im Anschluß an die Frage der Analogie des Überganges der Wärme von höherer zu tieferer Temperatur mit dem Herabsinken eines Gewichtes von größerer auf geringere Höhe. Ich hatte schon früher die Notwendigkeit einer scharfen Trennung dieser beiden Vorgänge betont. Denn sie unterscheiden sich grundsätzlich voneinander, wie sich die beiden Hauptsätze der Wärmetheorie voneinander unterscheiden. Damit stieß ich aber auf den Widerspruch einer damals allgemein verbreiteten Ansicht, und es war mir nicht möglich, mich mit meiner Meinung bei den Fachgenossen durchzusetzen. Es gab sogar Physiker, welche die CLAUSIUSschen Gedankengänge unnötig kompliziert und noch dazu unklar fanden, und welche es insbesondere ablehnten, durch die Einführung des Begriffes der Irreversibilität des direkten Wärmeübergangs der Wärme eine Sonderstellung unter den verschiedenen Energiearten zuzuweisen. Sie schufen als Gegenstück zur CLAUSIUSschen Wärmetheorie die sog. Energetik, deren erster Hauptsatz ebenso wie der CLAUSIUSsche das Prinzip der Erhaltung der Energie ausspricht, deren zweiter Hauptsatz aber, der die Richtung allen Geschehens anzeigen soll, den Wärmeübergang von höherer zu tieferer Temperatur in vollkommene Analogie stellt zu dem Herabsinken eines Gewichtes von größerer auf geringere Höhe. Damit hing dann zusammen, daß die Annahme einer Irreversibilität für den Beweis des zweiten Hauptsatzes als unwesentlich erklärt wurde, ferner auch, daß die Existenz eines absoluten Nullpunktes der Temperatur bestritten wurde unter Berufung darauf, daß man wie bei Höhenniveaus so auch bei der Temperatur nur Differenzen messen könne.

Es gehört mit zu den schmerzlichsten Erfahrungen der ersten Jahrzehnte meines wissenschaftlichen Lebens, daß es mir nur selten, ja, ich möchte sagen, niemals gelungen ist, eine neue Behauptung, für deren Richtigkeit ich einen vollkommen zwingenden, aber nur theoretischen Beweis erbringen konnte, zur allgemeinen Anerkennung zu bringen. So ging es mir auch diesmal. Gegen die Autorität von Männern wie W. OSTWALD, CH. HELM, E. MACH war eben nicht aufzukommen. Daß meine Behauptung des grundsätzlichen Unterschiedes zwischen der Wärmeleitung und dem Gewichtsherabfall schließlich sich als zutreffend erweisen würde, wußte ich ja mit vollkommener Sicherheit. Aber das Ärgerliche war, daß ich nicht die Genugtuung erlebte, mich durchgesetzt zu haben, sondern daß die allgemeine Anerkennung meiner Behauptung von ganz anderer Seite herbeigeführt wurde, die mit den Überlegungen, durch welche ich meine Behauptung begründet hatte, in gar keinem Zusammenhang stand, nämlich von der atomistischen Theorie, wie sie durch LUDWIG BOLTZMANN vertreten wurde.

BOLTZMANN war es gelungen, für ein gegebenes Gas in einem gegebenen Zustand eine Größe H zu bilden, welche die Eigenschaft besitzt, daß ihr Betrag mit der Zeit beständig abnimmt. Man braucht also nur den negativen Wert dieser Größe mit der Entropie zu identifizieren, um das Prinzip der Vermehrung der Entropie zu gewinnen. Damit war dann auch die Irreversibilität als charakteristisch für die Vorgänge in einem Gase nachgewiesen.

So kam die tatsächliche Entwicklung der Dinge darauf hinaus, daß meine Behauptung des grundsätzlichen Unterschiedes zwischen der Wärmeleitung und einem mechanischen Vorgang zwar den Sieg über die frühere, von hervorragenden Autoritäten vertretene Ansicht davontrug, daß aber meine Beteiligung bei dem Kampf ganz überflüssig war; denn auch ohne sie wäre der Umschwung genau so eingetreten.

Es versteht sich, daß dieser Kampf, in dem sich BOLTZMANN und OSTWALD gegenüberstanden, ziemlich lebhaft geführt wurde und daß er auch zu manchen drastischen Effekten Anlaß gab, da die beiden Gegner sich an Schlagfertigkeit und natürlichem Witz ebenbürtig waren. Ich selbst konnte dabei nach dem Gesagten nur die Rolle eines Sekundanten von BOLTZMANN spielen, dessen Dienste von diesem freilich gar nicht anerkannt, ja nicht einmal gern gesehen wurden. Denn BOLTZMANN wußte recht wohl, daß mein Standpunkt von dem seinigen doch wesentlich verschieden war. Insbesondere verdroß es ihn, daß ich der atomistischen Theorie, welche die Grundlage seiner ganzen Forschungsarbeit bildete, nicht nur gleichgültig, sondern sogar etwas ablehnend gegenüberstand. Das hatte darin seinen Grund, daß ich damals dem Prinzip der Vermehrung der Entropie die nämliche ausnahmslose Gültigkeit zuschrieb wie dem Prinzip der Erhaltung der Energie, während bei BOLTZMANN jenes Prinzip nur als Wahrscheinlichkeitsgesetz erscheint, welches als solches auch Ausnahmen zuläßt. Die Größe H kann auch einmal zunehmen. Auf diesen Punkt war BOLTZMANN bei der Ableitung seines sog. H-Theorems gar nicht eingegangen, und ein talentvoller Schüler von mir, ERNST ZERMELO, wies mit Nachdruck auf diesen Mangel einer strengen Begründung des Theorems hin. In der Tat fehlte in der Rechnung von BOLTZMANN die Erwähnung des für die Gültigkeit seines Theorems unentbehrliche Voraussetzung der molekularen Unordnung. Er setzte sie wohl als selbstverständlich voraus. Jedenfalls erwiderte er dem jungen ZERMELO mit beißender Schärfe, von der auch ein Teil mich selbst traf, weil doch die ZERMELOsche Arbeit mit meiner Genehmigung erschienen war. Auf diese Weise kam es, daß BOLTZMANN zeitlebens, auch bei späteren Gelegenheiten, sowohl in seinen Publikationen als auch in unserer Privatkorrespondenz einen gereizten Ton gegen mich beibehielt, der erst in der letzten Zeit seines Lebens, als ich ihm von der atomistischen Begründung meines Strahlungsgesetzes berichtete, einer freundlichen Zustimmung wich.

Daß BOLTZMANN in dem Kampf gegen OSTWALD und die Energetiker sich schließlich durchsetze, war für mich nach dem Gesagten eine Selbstverständlichkeit. Die grundsätzliche Verschiedenheit der Wärmeleitung von einem rein mechanischen Vorgang wurde allgemein anerkannt. Dabei hatte ich Gelegenheit, eine, wie ich glaube, bemerkenswerte Tatsache festzustellen. Eine neue wissenschaftliche Wahrheit pflegt sich nicht in der Weise durchzusetzen, daß ihre Gegner überzeugt werden und sich als belehrt erklären, sondern vielmehr dadurch, daß die Gegner allmählich aussterben und daß die heranwachsende Generation von vornherein mit der Wahrheit vertraut gemacht ist.

Im übrigen boten die hier geschilderten Auseinandersetzungen für mich verhältnismäßig nur wenig Reiz, da etwas Neues dabei nicht herauskommen konnte. Mein Interesse wandte sich daher bald einem ganz anderen Problem zu, das mich für längere Zeit in seinem Bann festhalten und zu verschiedenen Arbeiten anregen sollte: dem Strahlungsgesetz.

Wie ich dieses Problem in Angriff nahm und wie es sich schließlich löste, habe ich vor ein paar Jahren in dieser Zeitschrift ausführlich dargestellt.[5]) Dabei mußte ich mich nun freilich selbst einer molekularstatistischen Methode bedienen und mich damit der bis dahin angefochtenen Atomtheorie zuwenden. Allerdings unterschied sich diese in einem entscheidenden Punkte von den von BOLTZMANN und andern Vertretern der Atomtheorie angewandten Verfahren, in der Idee des elementaren Wirkungsquantums h. Die Umgestaltung, welche damit erforderlich wurde, habe ich im Anschluß an die Arbeiten über das Strahlungsgesetz mehrfach behandelt. Sie wirkt auch auf die eigentliche Thermodynamik zurück.

[5]) Zur Geschichte der Auffindung des Wirkungsquantums, M. PLANCK, Naturwiss. 31, 153 (1943).

Über Böen und Tromben.

Von HARALD KOSCHMIEDER.

(Fortsetzung und Schluß.)

III. Die Tromben.

Welche gewaltigen Aufwärtsbewegungen in der Schlotströmung normaler Gewitterwolken auftreten, ist durch Segelflieger, besonders im Rhönsegelflugwettbewerb 1938, klargestellt worden. Schon die erreichten Höhen, also die vertikale Ausdehnung des Aufwindes, war überraschend: am 5. 8. 1938 gewann BLECH 6300 m Seehöhe, DRECHSEL gar 8100 m, während am 6. 8. 1938 SCHEIDHAUER in 8000 m und ROMEIS in 8400 m wegen Atemnot oder Flügelbruch aus den immer noch stark steigenden Flugzeugen mit dem Fallschirm „ausstiegen", wie es in der lakonischen Sprache der Segelflieger heißt. Noch überraschender als die Höhen waren indeß die Steiggeschwindigkeiten: Aus den Barogrammen zahlreicher Segelflüge ergeben sich Aufwinde von 18, 20, 21 ja 27 m/sec, und zwar nicht etwa als kurz dauernde Böen, sondern als Mittelwerte über Höhenschichten von mehreren Tausend Meter Dicke. Das sind Zahlen, die noch vor 10 Jahren unvorstellbar waren.

Von ihnen bis zu den Aufwinden in den Tromben ist es kein großer Schritt mehr. Das ist verständlich, da sich die Tromben durchwegs aus Gewitterwolken entwickeln. So trat am 25. 7. 1938, an dem vier Segelflugzeuge in der Rhön Höhen über 4000 m erreichten, dort auch eine Trombe auf. Die Aufwinde in den Tromben sind auf etwa 50 m/sec, in den amerikanischen Tornados auf das Doppelte zu veranschlagen. Über beide habe ich hier vor 6 Jahren berichtet (12). Da inzwischen neue aufschlußreiche Beobachtungen beigebracht worden sind und in einigen Punkten eine Klärung eingetreten ist, sollen die *Tromben als die am schärfsten ausgeprägte Schlotströmung* hier abgehandelt werden.

Zunächst die Trombenhäufigkeit: Die zuverlässigsten Trombenzahlen stammen vom Unwetter-Netz. In den Niederlanden treten danach jährlich im Durchschnitt 8 Tromben auf, das ergibt 2½ auf 10 000 qkm im Jahr. 183jährige Beobachtungen vom Genfer See ergeben 1¼ Tromben auf 10 000 qkm im Jahr, also etwa die gleiche Größenordnung. Man kann also mit 2 Tromben im Jahr auf 10 000 qkm in Mitteleuropa rechnen; die jährliche Zahl der Tornados in Nordamerika ist 0,2 auf 10 000 qkm (140 auf 7,8 Mill. qkm). Die angegebene Trombenhäufigkeit ist rund das 20fache des Wertes, den A. WEGENER und auch ich früher annahmen. Er bezeichnet seine Schätzungen als unsicher und das gleiche gilt für meine jetzige Zahl. Doch glaube ich, daß die Trombenzahl früher unterschätzt worden ist. Denn erstens sind die Tromben örtlich so begrenzte Erscheinungen, daß sie nur dort mit einiger Vollständigkeit erfaßt werden, wo in dichtbesiedelten Gebieten sich weiteste Volksschichten an den Meldungen beteiligten, wie im niederländischen Onweder-Netz; in den Gesichtskreis von Fachstationen werden sie nur ausnahmsweise kommen. Zweitens treten die Tromben auf Land, die Windhosen, im Gegensatz zu den Wasserhosen, meist „blind" auf, d. h. der sichtbare Trombenschlauch reicht nicht bis zur Erde herab und wird daher leicht übersehen.

Ich bin daher der Meinung, daß viele der „normalen" Windbrüche in Wäldern auf Tromben zurückgehen, und führe als Beweis den Windbruch von Wiesenthal bei Danzig vom Jahre 1934 an (14). 70- bis 80jährige Fichten wurden wie Streichhölzer geknickt oder mit ihrem Wurzelwerk von 2—4 m Durchmesser umgeworfen. Die 13 Bruchnester, von je 30 bis 50 m Breite, liegen auf einer geraden Linie von etwa 1 km Länge. Trägt man die gefallenen Bäume nach Lage und Richtung in eine Karte ein, so erhält man zunächst ein wirres Durcheinander. Ich ließ dann die Bäume in unten und oben liegende, d. h. früher und später gefallene trennen, worauf sich das Bild völlig entwirrte: die zuerst gefallenen (unten liegenden) Bäume lagen fast in der Zugrichtung, die später gefallenen Bäume fast senkrecht zur Zugrichtung nach rechts.

Diese Verteilung wird durch die Annahme geklärt, daß das Bruchfeld auf der rechten Seite einer mit großer Geschwindigkeit nach NNW wandernden zyklonal (also links herum) rotierenden Trombe lag; auf ihrer rechten Seite wirkt dann, im Augenblick des Vorbeizugs, die Summe der Wanderungs- und Drehgeschwindigkeiten, auf der linken Seite nur die schwächere Differenz. Durch die Trennung in früher (beim Vorbeizug) und später (auf der Rückseite) gefallene Bäume kann man also feststellen, ob eine Trombe aufgetreten ist oder nicht, und welchen Drehsinn sie besaß.

Für den Lebenslauf einer Trombe mag hier als Beispiel die *Wasserhose von Thiessow* (6) erörtert werden, für die durch einen einzigartigen Glücksfall 30 Lichtbilder von verschiedenen Seiten vorliegen, sodaß sich die Trombe in ihrer Bahn und ihren Abmessungen von der Wiege bis zum Grabe verfolgen läßt. Bei fast windstillem, schwülem Wetter zog eine gewaltige schwarze Gewitterwolke am 29. 8. 1937 mit etwa 2 m/sec am Ostrande von Rügen entlang. Zunächst bildete sich ein

kleiner Wolkenstummel über Land, der etwa 1—2 Minuten bestand, dann senkte sich eine Nebelwand auf das Meer herab, die kaum eine Minute bestehen blieb. Nach ihrem Verschwinden entstand die im folgenden erörterte Haupttrombe, und zwar über der See, etwa 1½ km ostwärts des Ortes, an dem der kleine Stummel verschwunden war. Sie bestand etwa 8—10 Minuten und legte einen Weg von 900 m zurück. Die Länge der Trombe betrug etwa 490 m, die Dicke des Wolkenschlauches zuerst rund 11 m, vor dem Zerfall rund 48 m. Die Luft war in drehender Bewegung und bildete am unteren Ende der Trombe einen Wasserstaubfuß, dessen Durchmesser zuerst rund 40 m, später rund 80 m betrug. Die Auswertung der Lichtbilder lieferte folgende Gestaltsänderungen der Trombe (Fig. 18): zuerst war die Trombe dünn und ganz leicht geschlängelt. Sie war oben etwas nach Westen geneigt, also nicht nach dem Zentrum der Gewitterwolke, das deutlich im Osten lag und später einen Wolkenbruch auf See erzeugte. Mit der Zeit richtete sich die Trombe auf. Es erschien in der Mitte deutlich ein heller Streifen, der besonders auf dem Bild Gs. 8 zu erkennen ist und ohne Zweifel die Tropfenarmut auf der Trombenachse anzeigt, die durch die Zentrifugalkraft der Rotationsbewegung hinreichend erklärt wird. In diesem Streifen erschien ein dunkler Strich (Bild Gs. 11), es bildete sich so eine Doppelröhre. Die innere Röhre wurde immer deutlicher, die äußere Röhre wurde immer schwächer und zerriß (Bild E 2). Unmittelbar darauf zerriß auch die innere Röhre, der untere Teil zerfiel, der obere „zog sich in die Wolke zurück".

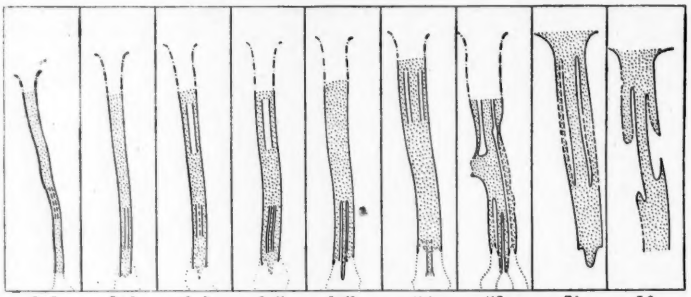


Fig. 18. Wasserhose von THIESSOW, Schemazeichnungen nach den Photographien.

Es gibt nur noch wenige Lichtbildserien einzelner Tromben. Der Gothenburg-Tornado zeigt eine ähnliche Entwicklung: Verdickung und Bildung einer Doppelröhre (3 Bilder), die Windhose von Peshawar (7 Bilder) die größte Dicke dagegen etwa in der zeitlichen Mitte ihres Bestehens, dann ein allmähliches Einschrumpfen. Die von CLUSIUS am 5. 9. 1938 photographierte Trombe von Dubrovnik (6), die bei schwülem, nur schwachwindigem Wetter über dem Meer entstand, dann auf eine Insel übertrat, scheint ihre größte Dicke (54 m) im Anfang ihrer Entwicklung gehabt zu haben[1]). Der Lebenslauf der einzelnen Tromben scheint demnach recht verschiedenartig zu sein, was nicht Wunder nehmen kann, da sie von den Vorgängen in den erzeugenden Cumulonimben abhängen. Diese sind aber erfahrungsgemäß zeitlich stark veränderlich, sodaß sich die Entwicklung der Trombe ganz nach dem Stadium richten wird, in dem sich der Gewitterturm zur Zeit der Trombenbildung befindet.

Wir kehren nochmals zur „Spurforschung" zurück. Durch sie sind A. WEGENER die zwei großen Entdeckungen gelungen, mit denen ihm das Schicksal seine unbeirrbare Treue gedankt hat: die Seitenstellung der Tromben (d. h. das Auftreten seitlich von der Bahn der Gewitterwolke) und die äußeren Streufelder. Als Beispiel für die *Seitenstellung* sei die von A. WEGENER (19) bearbeitete Trombe von Oststeiermark 1927 angeführt: die zyklonal rotierende Trombe begleitete die Gewitterwolke (Hagelbahn) auf deren rechter Seite (gesehen in der Zugrichtung der Trombe). WEGENER konnte für die Rechtsstellung der zyklonalen Tromben noch die Tromben von Riga 1872, St. Claude 1890, und Woldegk 1764 anführen, und M. PINKHOF hat fast gleichzeitig mit ihm dieses Ergebnis an 5 Tromben des Jahres 1925—1927 und 1938 an 6 Tromben der Jahre 1928—1931 nachgewiesen. A. WEGENER schloß mit Hilfe seiner Mutterwirbeltheorie (siehe unten), daß die linksseitigen Tromben antizyklonal (also rechts herum) rotieren. Diese Voraussage erfüllte sich bei den Hindelooper Tromben 1938, die M. PINKHOF (16) bearbeitete: diese antizyklonal rotierenden Tromben lagen eindeutig auf der linken Seite der Hagelbahn. Freilich fehlen auch vereinzelte Ausnahmen nicht: die rechtsseitige Trombe von Doetinchen 1931 (PINKHOF) rotierte antizyklonal, die linksseitige Trombe von Dubrovnik 1938 (CLUSIUS) rotierte zyklonal. Aber man wird trotzdem sagen können, *daß rechtsseitige Tromben in der Regel zyklonal* (die selteneren linksseitigen Tromben in der Regel antizyklonal) *rotieren*.

Diese Aussage wäre als eine glänzende Bestätigung der Mutterwirbeltheorie WEGENERs aufzufassen. Danach ist die Ursache der Tromben ein in der erzeugenden Gewitterwolke verborgener Wirbel mit horizontaler Achse (vgl. Fig. 19), der umgekehrt rotiert wie der

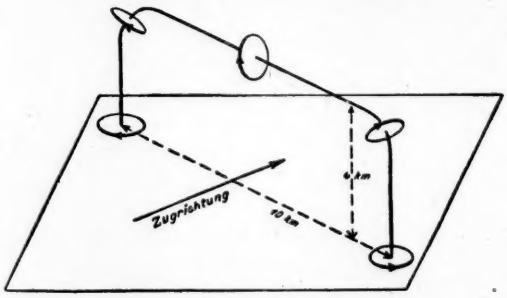


Fig. 19. A. WEGENERs horizontaler Mutterwirbel mit der rechtsseitigen (zyklonal, also links herum rotierenden) Trombe und der linksseitigen (antizyklonal rotierenden) Trombe.

Böenwirbel unter der Wolke, also im Sinne eines rollenden Rades. Die Tromben entstehen nach A. WEGENER durch die an den Seiten abwärts gebogenen Enden des Wirbels: ersichtlich ist der Drehsinn auf der rechten Seite zyklonal, auf der linken Seite antizyklonal. A. WEGENER konnte für den horizontalen Wirbel eine Beschreibung der Teplitzer Trombe 1887 anführen. Heute liegen sogar zwei Lichtbilder solcher mehr oder weniger horizontalen Tromben vor: von der Trombe von Magdeburg 1933 (11) (Fig. 20) und von dem Elmwood-Tornado

[1]) Der Verf. hat die 3 von Prof. CLUSIUS aufgenommenen schönen Photographien dieser Trombe veröffentlicht (6). Leider muß auf die Wiedergabe verzichtet werden, da die augenblicklichen Mängel der Reproduktion nur einen unvollkommenen Eindruck geben würden. Aus dem Bericht von Prof. CLUSIUS sei der anschauliche Vergleich erwähnt, daß der Trichter „die Struktur eines ungeheuren, in sich verdrehten Korbgeflechtes hatte". (Anm. d. Red.)

1919 (15) (Fig. 21). Bei beiden ist der Drehsinn leider nicht bekannt geworden.

Durch den horizontalen Mutterwirbel glaubt WEGENER auch die äußeren Streufelder erklären zu können.

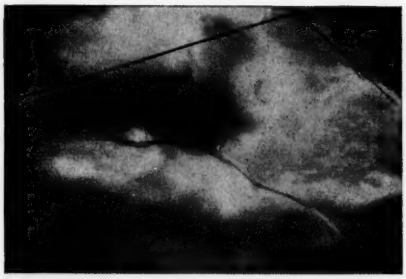


Fig. 20. Die horizontale Trombe von Magdeburg am 16. Juni 1933.

Als Beispiel sei das Streufeld der Trombe von Riga gegeben (Fig. 22): das Streugut, darunter ein Brett von 2 Zoll Dicke, 14 Zoll Breite und 8 Fuß Länge (Äste, Bretter usw.), legte dabei eine Luftreise von 10—16 km

Fig. 21. Photographie des Elmwood-Tornados, 1919.

zurück und war zum Teil vereist, weswegen WEGENER annimmt, daß der Mutterwirbel über der 0°-Isotherme liegt, d. h. über rund 4 km Höhe.

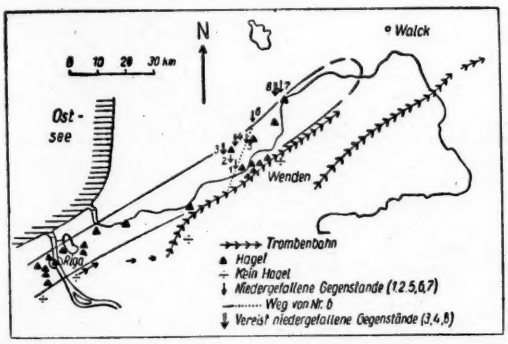


Fig. 22. Karte der Trombe von Riga, nach A. WEGENER.

Sprechen die Seitenstellung und die äußeren Streufelder *für* die Mutterwirbeltheorie, so empfand es WEGENER als eine große Schwierigkeit, daß niemals gleichzeitig ein Trombenpaar beobachtet worden ist, dessen rechte Trombe zyklonal und dessen linke antizyklonal rotierte. Man erkennt aber aus Fig. 19, daß ein solches Trombenpaar kinematisch unmöglich ist: da sich in *jeder* Trombe eine starke Aufwärtsbewegung findet, ist nicht einzusehen, wo die in beiden Tromben aufsteigende Luft verbleiben soll. Die Hauptschwierigkeit der Mutterwirbeltheorie liegt aber in der Energiefrage. A. WEGENER bezeichnet selbst seine Theorie als eine mechanische, bei der die thermodynamischen Vorgänge in der Wolke, d. h. in erster Linie die frei werdende Kondensationswärme, keine Rolle spiele, und die Wirbelbildung durch die Sammlung schon vorhandener Gleitwirbel erfolge. Solche Gleitwirbel richtigen Drehsinnes seien z. B. die Gleitwirbel der normalen Windzunahme mit der Höhe oder an Sprungschichten des Windes, oder auch die Grenzwirbel, die sich am Rande eines aufschießenden Gewitterturmes finden. Wie eine Sammlung solcher Gleitwirbel erfolgen kann, ist schwer vorzustellen. Beinahe unmöglich erscheint es, daß sie die in den Tromben vorhandene Energie hergeben.

Die für die Tromben benötigte Energie wird dagegen leicht aus der *Feuchtlabilität* bestritten, ein Begriff, den REFSDAL 1930 bis in alle Einzelheiten durchdacht hatte. A. WEGENER hat weder diese Entdeckung, noch die eben erörterten Erfahrungen der Segelflieger mehr kennen gelernt. So sehen heute die Dinge ganz anders aus als zur Zeit seines allzu frühen Todes. Wie stark die Feuchtlabilität in Gewittertürmen sein kann, geht aus dem Registrierballon-Aufstieg am 18. August 1939 hervor, der bei einem Wärmegewitter erfolgte. Die Cumuluskondensationshöhe der am Boden gelegenen Luft lag in rund 1700 m. Oberhalb der Kondensationshöhe herrschte Feuchtlabilität, ein Quantum aufsteigender Wolkenluft wäre dort stets wärmer als seine Umgebung angekommen und wäre deshalb bis zur Untergrenze der Stratosphäre aufwärts beschleunigt worden. Die freiwerdende Energie läßt sich berechnen und reicht in diesem Falle aus, um dem Luftquantum Sturmgeschwindigkeit zu erteilen.

Über die *Entwicklung der Strömungsvorgänge* kann man sich nun folgende Vorstellungen machen (6): Gegeben sei eine im ganzen feuchtlabile Schicht großer Mächtigkeit. Nach dem soeben Gesagten hindert nichts, anzunehmen, daß bei besonders gut entwickelten Gewittertürmen die ganze Troposphäre feuchtlabil ist. In diese seien — wie meist — einige kleine Sperrschichten (d. h. Schichten, die mindestens feuchtstabil sind) eingestreut. Ein irgendwie aufwärts beschleunigter Luftballen wird an ihnen meist zur Ruhe kommen. Ist jedoch der Ballen besonders warm und groß und die Schicht zwischen der ersten und zweiten Sperrschicht besonders groß und feuchtlabil, so schießt der Ballen über die erste Sperrschicht hinaus, und zwar mit großer Beschleunigung. Die ursprünglich neben dem Ballen gelegene Luft stürzt nun horizontal nach innen zusammen. Ist der Ballen klein, etwa 1—10 m im Durchmesser, so erfolgt in der Horizontale rasch ein Druckausgleich. Ist er dagegen groß, etwa 500—1000 m im Durchmesser, so muß die Luft schon größere Wege zurücklegen. Auf diesem Wege finden sich in der Atmosphäre immer irgendwelche Asymmetrien. Dann erfolgt die Bewegung nicht mehr radial, sondern auf gekrümmten Bahnen und nun wird die *Zentrifugalkraft* wirksam: sie erzeugt zwar nicht die horizontalen Druckunterschiede, aber sie verhindert ihren raschen Ausgleich. Die horizontalen Druckunterschiede selbst kommen durch die *Trägheit* der zusammenstürzenden Luft zustande: diese wird bei dem seitlichen Zusammensturz zusammengepreßt und in der Mitte mit großer Geschwindigkeit in die Höhe gequetscht. Dieser Geschwindigkeitsverteilung paßt sich die Druckverteilung an, wodurch im Innern einer Trombe

eine Druckerniedrigung entsteht, die bis 50 Millibar erreichen mag. Das Wesentliche an einer Trombe ist also eine räumlich stark konzentrierte Schlotströmung (Fig. 23).

Die Rotationsbewegung, die in den Tromben auftritt und von derselben Größenordnung wie die Vertikalbewegung ist, ist dagegen eine Begleiterscheinung, so wichtig sie für die Entwicklung der Trombe sein mag. Man muß sie sich noch dem Stromfeld der Fig. 23 überlagert denken.

So primitiv die hier entwickelten Vorstellungen sind, so muß in ihnen doch ein gut Teil Wahrheit stecken. Zunächst ist einmal sicher, daß in den Tromben — im

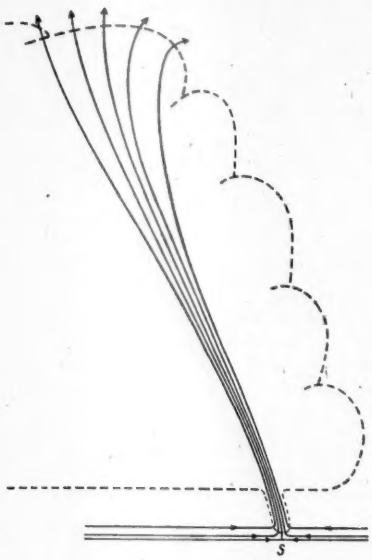


Fig. 23. Schema der reinen Schlotströmung einer Trombe, bei fortgelassener Drehbewegung. Stromlinien ausgezogen, Wolkengrenze und Trombenschlauch gestrichelt.

Gegensatz zu fast allen anderen Aufgaben der dynamischen Meteorologie — starke vertikale Druckgradienten auftreten, die *nicht* durch die Schwerkraft kompensiert sind: Temperaturverteilungen, die auf 100 m Durchmesser Druckerniedrigungen bis zu 50 mb erzeugen, dürften unvorstellbar sein. Weiter hat sich meine Annahme einer im ganzen feuchtlabilen Atmosphäre mit eingestreuten Sperrschichten insofern bewährt, als sie nach HENRY geradezu das aerologische Kennzeichen der Tornadowetterlagen zu sein scheint. Auch die Druckerniedrigung auf großer Fläche unmittelbar vor der Trombenbildung scheint in einem Fall beobachtet worden zu sein: ein Beobachter der Thiessower Wasserhose, der sich auch in strittgien Punkten als zuverlässig erwiesen hat, sagte aus, daß unmittelbar vor der Bildung der Trombe eine große Nebelwand entstanden sei, die bestimmt keine Regenwand gewesen wäre. Schließlich kommt die thermodynamische Theorie ohne Annahmen ad hoc (unbekannte Kondensationsvorgänge, horizontaler Mutterwirbel) aus.

Bleibt noch die Frage der Seitenstellung und der äußeren Streufelder. Die zyklonale Rotation auf der rechten Seite der Gewitterwolke kann man sich durch die Gleitwirbel gleichen Sinnes entstanden denken, die dort zwischen der rückwärts in den Cumulonimbus einströmenden Warmluft und derjenigen Warmluft vorhanden sind, die nicht oder nur im geringen Umfange an dem Einströmen teilnimmt. Diese Gleitwirbel geben (im Gegensatz zu WEGENERs Vorstellung über die Entstehung des Mutterwirbels) nicht die Energie des Wirbels her, sondern legen lediglich den Drehsinn der Schlotströmung fest, die — wie die Trichterströmung der Badewanne — ohne Rotation nicht labil ist. Da sich die genannten Gleitwirbel am stärksten am seitlichen Rande der einströmenden Warmluft finden, kann man auch eine geneigte Achse der rotierenden Schlotströmung erwarten. Diese wird dann das unten aufgenommene Streugut oben auch in einem großen seitlichen Abstand auswerfen, ein äußeres Streufeld erzeugen.

Es wird von Interesse sein, die hier über die Tromben entwickelten Vorstellungen bei jeder nur möglichen Gelegenheit nachzuprüfen. Zur theoretischen Behandlung sollte man versuchen, die *Trägheit* durch Mitnahme der quadratischen Glieder in den hydrodynamischen Gleichungen zu berücksichtigen. Denn wenn auch die Trombe eine für den Wetterdienst nicht sehr belangreiche Erscheinung ist, so wird in ihr das zum beherrschenden, ja fast zum alleinigen Vorgang, was in den Tiefdruckgebieten nur versteckt und durch andere Vorgänge überwuchert auftritt: der Wirbel mit vertikaler Achse.

Alles das, was die Hydrodynamik über die Wirbelbildung sagen kann, in erster Linie also die Ergebnisse der PRANDTLschen Grenzschichttheorie, bezieht sich auf die Leewirbel hinter festen Hindernissen. In der Atmosphäre dagegen fehlen — von der zur Wirbelachse senkrechten Erdoberfläche abgesehen — diese festen Grenzen für die vertikalen Wirbel völlig. So gerät man auf dem Umweg über eine Kuriosität, über die Tromben, mitten in das Hauptproblem der Wetterkunde: in die Erklärung der Tiefdruckgebiete. So klar und anschaulich die Bewegungsvorgänge durch die Polarfronttheorie dargestellt werden, so geheimnisvoll bleibt die Kraft, die die untere Troposphäre zum Aufsteigen, die untere Stratosphäre zum Absteigen und zur Bildung der Tropopausentrichter nötigt. Tromben und Tiefdruckgebiete unterscheiden sich zwar stark in ihrer Größe, in dem Einfluß der Reibungskräfte, in der Mitwirkung der Coriolis- und Zentrifugalkraft und in der Bedeutung der großräumigen Temperaturunterschiede, aber es handelt sich in beiden Fällen um *vertikale rotierende Schlotströmungen.* Vielleicht lohnt es sich, auch die Tiefdruckgebiete wieder einmal von diesem Standpunkt aus zu betrachten, nachdem seit MARGULES, W. SCHMIDT und der großartigen Synthese der Polarfronttheorie die *horizontalen* Luftbewegungen, die aus den großräumigen Temperaturunterschieden hervorgehen, das Feld beherrscht haben. *Gesicherte Erkenntnisse* über die Wirbel vertikaler Achse, selbst bescheidenen Umfanges, werden in ihrer Auswirkung auf die Wettervorhersage — auf lange Sicht gesehen — auch neben den großartigen Entwicklungen auf instrumentellem Gebiet, der feinsten Ausarbeitung der Arbeitsmethoden und den organisatorischen Leistungen des Wetterdienstes bestehen können.

Giftige Eiweißstoffe.

Tierische, pflanzliche und bakterielle Gifte [1]).

Von Fritz Micheel.

Wenn man unter Giften ganz allgemein alle die Stoffe versteht, die in der Lage sind, den lebenden Organismus bei ihrem Eindringen in ihn zu schädigen oder zu töten, so würden die meisten der bekannten Stoffe zu ihnen gerechnet werden müssen. Völlig harmlose Substanzen, wie Kochsalz, Zucker oder sogar Wasser können bei Mensch und Tier, wenn sie in schädlichen Mengen und auf anormalem Wege zugeführt werden (etwa intravenös), den Tod herbeiführen. Sie haben also unter diesen Umständen eine starke Giftwirkung, ohne daß man sie zu den „Giften" rechnen darf. Unter Giften im engeren und eigentlichen Sinne muß man deshalb nur solche Stoffe verstehen, die in kleinen und kleinsten Dosen starke Schädigungen und den Tod eines lebenden Organismus herbeiführen können. Die vor der Entwicklung einer chemischen Wissenschaft bekannten Gifte gehörten teils dem Mineralreiche an (z. B. Verbindungen des Bleies oder Arsens) oder es waren giftige Pflanzenstoffe, z. B. Extrakte aus dem Schierling, dem Bilsenkraut u. a., deren tödliche Prinzipien Alkaloide sind. Heute kennt man auf dem Gebiete der anorganischen, besonders aber dem der organischen Chemie eine sehr große Anzahl von Giften, wobei die Zahl der synthetischen bei weitem die der in der Natur vorkommenden übertrifft.

Eine Sonderstellung nehmen in mehr als einer Hinsicht die giftigen Eiweißstoffe ein. Während die wichtigsten Gifte des Pflanzenreiches, die Alkaloide, Substanzen von niedrigem Molekulargewichte sind, finden sich giftige Eiweißstoffe nur selten in Pflanzen und ganz überwiegend im Tierreich. Entsprechend ihrer Natur als Proteine entfalten diese giftigen Proteine ihre Wirkung, bis auf vereinzelte Ausnahmen, nur bei parenteraler Zufuhr, da sie im Verdauungstrakte, wie die übrigen Eiweißstoffe, durch dessen Enzyme zu ungiftigen, niedrigmolekularen Bausteinen hydrolysiert werden. Ausnahmen davon sind das Gift des Knollenblätterschwammes (Amanita phalloides) und vielleicht der Giftstoff des Bac. botulinus (Wurstvergiftung). Ersteres ist, wie im folgenden ausgeführt wird, höchstwahrscheinlich durch eine besondere Struktureigentümlichkeit vor den Eiweißstoffen mit kettenförmiger Struktur ausgezeichnet.

Die giftigen Eiweißstoffe sind fast alle durch einen besonderen Grad von Wirksamkeit ausgezeichnet. Sie übertreffen darin meist die sonst bekannten starken anorganischen Gifte (z. B. die Blausäure) oder die Alkaloide (z. B. das Strychnin) ganz außerordentlich. Wegen dieser sehr hohen Toxizität ist ihre Wirkungsweise am besten als eine katalytische zu deuten, worauf noch ausführlicher weiter unten zurückzukommen sein wird. Sie sind darin anderen biologischen Wirkstoffen, den Hormonen, den Vitaminen und den Enzymen an die Seite zu stellen, mit dem Unterschiede, daß sie nicht lebensnotwendige, sondern lebenschädigende Prozesse steuern. Sie wären also als „negative" oder „destruierende" Wirkstoffe aufzufassen. Nicht in diesem Zusammenhange sollen selenhaltige giftige Eiweißstoffe behandelt werden, wie man sie aus Getreidearten isoliert hat, die auf selenhaltigen Böden gewachsen sind (1), weil solche Proteine ihre Giftigkeit offenbar lediglich ihrem Selengehalte verdanken; ebensowenig solche eiweißartigen Stoffe, die nur infolge ungeeigneter Dosierung oder Applikationsweise tödlich wirken, z. B. das Insulin bei zu hoher Dosierung, die Urease (2) oder das Trypsin (2a) bei intravenöser Zufuhr. Trypsin führt z. B. in Gaben von 0,6—1,0 mg/kg an Katzen oder Kaninchen den Tod durch Kreislaufkollaps herbei. Ebensowenig soll in diesem Zusammenhange auf die verschiedenen Virusarten eingegangen werden, da diese einem Sondergebiete angehören und einen andersartigen Mechanismus der Wirkung entfalten. Die Tabelle zeigt zunächst eine Übersicht über die tödliche Grenzdosis (dosis letalis minima, d. l. m.) einiger wichtiger giftiger Eiweißstoffe, vielfach auch Toxine genannt. Es handelt sich um pflanzliche, tierische und bakterielle Gifte. Die beiden letzten sind synthetische Produkte.

Tabelle.

Giftstoff	Versuchstier	d. l. m. in g pro kg Versuchstier
Ricin [3])	Kaninchen	$3—5.10^{-5}$
Crotin [4])	„	$5—8.10^{-2}$
Amanitin [5])	Maus	$0{,}25.10^{-3}$
Phalloidin [6])	„	$2{,}5.10^{-3}$
Crotalotoxin [7])	Kaninchen	$0{,}85.10^{-3}$
Neurotoxin [8]) (Naja tripudians)	Maus	$1{,}0.10^{-4}$
Neurotoxin [9]) Naja flava)	„	$0{,}8.10^{-4}$
Bienengift [10])	„	0,5 / 0,8
Diphtherietoxin [11])	Meerschweinchen	$4{,}0.10^{-7}$
Tetanustoxin [12])	„	$1{,}5.10^{-7}$
Tetanustoxin [12])	Maus	$4{,}0.10^{-7}$
Pektintyrosylgelatine [13])	Kaninchen	1.10^{-3}
Pektintyrosylglobulin [13])	„	1.10^{-3}

Ein anschauliches Bild von der Giftigkeit dieser Stoffe kann man sich an Hand folgender Zahlen machen, die unter der Voraussetzung errechnet sind, daß die Empfindlichkeit des Menschen ähnlich wie die der Versuchstiere ist.

	1 kg tötet etwa
Strychnin	5 000 Menschen
Blausäure	16 000 Menschen
Ricin	3,6 Mill. Menschen
Neurotoxin aus Cobragift	150 000 Menschen
Tetanustoxin	100 Mill. Menschen

Die Zahl der giftigen Eiweißstoffe ist beträchtlich. Die Wirkungsweise ist bei einigen von ihnen, insbesondere bei Bakterientoxinen, Schlangengiften und einigen pflanzlichen Eiweißstoffen gut untersucht. Über ihre chemische Struktur, insbesondere über die chemischen Ursachen ihrer Giftigkeit, ist man bisher jedoch trotz vielfacher Bearbeitung verhältnismäßig wenig informiert. Dies hat seine Gründe vor allem darin, daß zu den üblichen Schwierigkeiten, wie sie bei der Reindarstellung und Strukturuntersuchung von hochmolekularen Stoffen im allgemeinen und von Eiweißstoffen im besonderen auftreten, bei diesen Toxinen häufig eine ungewöhnlich große Empfindlichkeit zu verzeichnen ist, die schon bei sehr milden Operationen, z. B. dem Eindampfen bei Zimmertemperatur im Vacuum, dem Abweichen vom p_H-Optimum der Stabilität, ja sogar beim Schütteln der Lösungen zum weitgehenden Verlust der Wirksamkeit führen kann. Demgegenüber besteht nur der bei der Reindarstellung von Wirkstoffen allgemein vorhandene Vorteil, daß man die Fortschritte der Konzentrierung im biologischen Test genau verfolgen kann.

Bei verhältnismäßig wenigen Toxinen wird man aber aus den oben angeführten Schwierigkeiten heraus behaupten dürfen, daß sie von unwirksamem Begleiteiweiß wirklich praktisch frei sind. Über viele von ihnen läßt

[1]) Diesem Aufsatz liegt ein am 28. Juli 1944 bei einer „Eiweißtagung" auf der Plassenburg gehaltener Vortrag zugrunde.

sich lediglich auf Grund ihrer Eigenschaften mit Sicherheit sagen, daß es Proteine sind. Zu diesen Eigenschaften gehören neben der Bruttozusammensetzung: Löslichkeit in Wasser, nicht in ausgesprochen organischen Lösungsmitteln, hohes Molekulargewicht und besonders die Fähigkeit, als Antigene zu wirken.

Es seien im Folgenden eine Reihe giftiger Proteine aus Pflanzen, Bakterien und Tieren behandelt, über deren Eigenschaften man nähere Kenntnis besitzt. Im Anschluß daran wird auf einige besonders wichtige Fragen eingegangen werden:

Durch welche strukturellen Eigentümlichkeiten unterscheiden sich die giftigen von den ungiftigen Eiweißstoffen, insbesondere, enthalten sie für die Giftwirkung verantwortliche, in ungiftigen Eiweißstoffen nicht anzutreffende „prosthetische" Gruppen oder Bausteine, oder liegen andere strukturelle Besonderheiten vor? Ferner: Wie kann man ihre biologische Wirkungsweise verstehen?

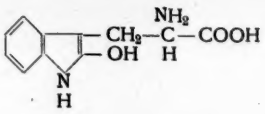
Giftige Eiweißstoffe aus Pflanzen. Gegenüber den eigentlichen Pflanzengiften, den niedrigmolekularen Alkaloiden, den digitalisartigen Stoffen oder den Saponinen ist die Zahl der bekannten eiweißartigen Gifte des Pflanzenreiches gering. Einige von ihnen sind näher untersucht worden. Aus den Früchten von Ricinus communis läßt sich das Ricin, ein Eiweißstoff von sehr beträchtlicher Giftigkeit, isolieren (Osborne und Mendel) (3), dessen Wirksamkeit sich bei Reinigung nach den verschiedenen Methoden der Fällung, Adsorption, Elution oder partiellen enzymatischen Hydrolyse (Karrer) (4) nicht weiter erhöhen läßt. Seine biologische Wirksamkeit besteht im wesentlichen in einer Hämolyse; die d. l. m. beträgt $3—5 \cdot 10^{-5}$ g/kg am Kaninchen. Ricin ist gegen enzymatische Hydrolyse verhältnismäßig widerstandsfähig. Bei der Hydrolyse mit Säure lassen sich 78 % der Hydrolysenprodukte als l-Aminosäuren und deren Umwandlungsprodukte charakterisieren (Karrer l. c.); diese unterscheiden sich jedoch weder in der Art noch in ihrem mengenmäßigen Anteil von denen, wie sie auch in ungiftigen Eiweißstoffen gefunden werden.

Ähnliches, wie für das Ricin Gesagte, gilt für das Crotin aus Crotonsamen. Crotin besitzt eine d. l. m. von $5—8\ 10^{-2}$ g/kg am Kaninchen und wirkt ähnlich wie Ricin, (Karrer) (4). Weder beim Ricin noch beim Crotin ist damit natürlich streng ausgeschlossen, daß nicht aminosäureartige, bisher nicht isolierte Bausteine vorhanden sind.

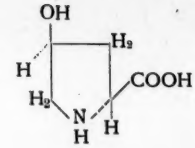
Wesentlich besser als über diese beiden Toxine ist man durch die Untersuchungen von Wieland und seiner Schule (5, 6) über die Giftstoffe des grünen Knollenblätterschwammes (Amanita phalloides) unterrichtet.

Der Hauptgiftstoff dieses gefürchteten Pilzes ist das Amanitin mit einer Wirksamkeit von $2{,}5 \cdot 10^{-4}$ g/kg Kaninchen. Ein zweites, weniger wirksames Gift ist das Phalloidin ($2{,}5 \cdot 10^{-3}$ g/kg Kaninchen). Beide sind in reiner, kristallisierter Form, z. T. auch in kristallinen Derivaten bekannt. Da sie ihrer Molekulargröße nach nicht zu den eigentlichen Eiweißstoffen, sondern zu den Polypeptiden zu rechnen sind, ließen sich, insbesondere beim länger bekannten Phalloidin, verhältnismäßig schnell Aussagen über ihre Struktur machen. Das Phalloidin ist aus 6 Aminosäure-Resten unter Abspaltung von 6 Molekülen Wasser aufgebaut und hat die Bruttoformel $C_{30}H_{39}O_9N_7S$. Isoliert werden aus einem Moleküle Phalloidin:

1 l-Cystin
1 l-Oxy-tryptonphan (I)
2 l-Alanin
2 l-Oxi-prolin (II)



I



II

Da weder eine freie NH_2-Gruppe noch eine freie COOH-Gruppe nachzuweisen sind, ist unter Berücksichtigung der Abspaltung von 6 Mol. Wasser aus 6 Aminosäuren an eine ringförmige Struktur zu denken. Bemerkenswert ist das Auftreten eines Oxy-tryptophans (I) und eines 4-Oxy-prolins (II).

I kann nicht die Ursache der Giftigkeit sein, weil es, in höheren Dosen als das Phalloidin verabfolgt, ungiftig ist.

Das Amanitin hat die Bruttoformel $C_{33}H_{45}(_{47})O_{12}N_7S$, Schmp. 245°. Sein kristallines Triacetat schmilzt bei 274° und ist etwa 1/10 so giftig wie das Amanitin. Über seine Struktur ist weniger bekannt als über die des Phalloidins. Eine Reihe von Eiweiß-(Farb-)Reaktionen fallen positiv aus.

Bemerkenswert an diesen Giftstoffen ist ihre Wirkung *per os.* Da die durch totale Hydrolyse aus dem Phalloidin entstehenden Aminosäuren ungiftig sind, müssen wahrscheinlich die Moleküle als Ganzes oder größere Bruchstücke die Wirkung bedingen, es müßte also eine relative Resistenz gegenüber den Proteasen des Verdauungstraktes bestehen. Sofern dem Phalloidin eine cyclische Struktur zukäme, mag dies mit dieser zusammenhängen.

Bakterielle Gifte (Bakterien-Toxine). Die bakteriellen eiweißartigen Gifte (Toxine) sind von besonderem Interesse. Dadurch, daß sie von pathogenen Mikroorganismen (z. B. Diphtheriebakterien, Tetanus-bac., Pneumococcen u. a.) erzeugt und an den Wirtsorganismus abgegeben werden, sind sie die Ursache für die Symptome und den Ablauf vieler Infektionskrankheiten. Der Umstand, daß sie meist starke Antigene sind, hat zur Entwicklung der Immunochemie und zur Bekämpfung der Infektionskrankheiten durch Aktiv- und Passiv-Immunisierung geführt. Für die Reindarstellung der Toxine war es von großer Bedeutung, die pathogenen Bakterien auf künstlichen Nährböden zu züchten, die als Stickstoffquelle kein Eiweiß, sondern entweder ein Eiweiß-total-hydrolysat (15) oder einzelne Aminosäuren enthalten (14). Nur so lassen sich die Schwierigkeiten einer Verunreinigung des Toxins durch fremdes Eiweiß von vornherein ausschalten.

Zu den am besten untersuchten Toxinen gehören diejenigen der Diphtherie- und der Tetanusbazillen. Das Diphtherietoxin wurde unabhängig voneinander und nach abweichenden Methoden von Pappenheimer (15) und von Eaton (16) in wahrscheinlich nahezu reiner Form gewonnen. Im Gegensatz zu älteren Methoden der Säurefällung, die das sehr säureempfindliche Toxin schädigen, wurden Methoden der Adsorption (Verunreinigungen) und der Fällung mit Alaun und Cadmiumchlorid (16) oder mit Ammonsulfat (15) angewandt. Das so gewonnene Toxin, dessen Gehalt an Fremdeiweiß auf Grund serologischer Reaktionen auf 0,5 % bis höchstens 2 % geschätzt wird, verhält sich nach Zusammensetzung und Reaktionen wie ein Eiweißstoff (d. l. m. $4{,}0 \cdot 10^{-7}$ g/kg Meerschweinchen). Das Molekulargewicht liegt bei 72 000.

Beachtenswert ist die beträchtliche Säureempfindlichkeit dieses Toxins (schon bei $P_H=6$ tritt Inaktivierung ein) und die Beobachtung, daß wässrige Lösungen beim Schütteln oder bei der Behandlung mit Seifenlösung inaktiviert werden. Bei vorsichtiger Acetylierung mit

Keten, bei der nur die ε-Amino-Gruppen des Lysins acyliert werden, verschwindet die Giftwirkung, jedoch nicht die Flockungsreaktion mit dem Antikörper des Ausgangstoxins, eine auch an anderen Antigenen beobachtete Erscheinung. Auf alle diese Befunde wird im Folgenden bei der Behandlung der Frage des Zusammenhanges zwischen Struktur und Giftigkeit eingegangen.

Im Tierversuch führt das Toxin Lähmung der peripheren Nerven herbei; einmalige, größere Dosen geben Nekrosebildung am Injektionsort.

Tierische Gifte. Fast alle Giftstoffe des Tierreiches sind eiweißartiger Natur. Im Gegensatz zu den hauptsächlichsten Giften des Pflanzenreiches, über deren Bedeutung für die Pflanze die Meinungen noch auseinandergehen (Abfallstoffe, unwichtige Nebenprodukte, Abwehrstoffe), kann man bei den meisten tierischen Giften sagen, daß sie einem ganz bestimmten Zwecke dienen: Abwehr und Angriff oder Tötung einer Beute. Demgemäß werden sie gewöhnlich mit Hilfe bestimmter Organe von dem Tiere zur Anwendung gebracht. Ihre Eiweißnatur hat es mit sich gebracht, daß man über die chemische Struktur der meisten von ihnen verhältnismäßig wenig weiß. Da die Abtrennung von anderen Eiweißstoffen vielfach nicht völlig durchgeführt ist und auf große Schwierigkeiten stößt, seien folgende Kriterien angeführt, bei deren Erfüllung auf einen eiweißartigen Giftstoff zu schließen ist:

1) Löslichkeit in Wasser, Unlöslichkeit in organischen (nicht hydrophilen) Lösungsmitteln.
2) Aussalzbarkeit mit Ammonsulfat u. a. Eiweißfällungsmitteln.
3) nicht oder schwer dialysierend (entsprechend den jeweiligen Molekulargewichten).
4) Wärmeinaktivierung: Denaturierung.
5) Immunisierung von Tieren gegen die Wirkung des Giftes.

Giftige Eiweißstoffe finden sich vor allem in den niederen Tieren. Es seien im Folgenden aus den einzelnen Tierarten die wichtigsten Giftstoffe besprochen, von denen der Nachweis als erbracht anzusehen ist, daß es sich bei ihnen um Eiweißkörper handelt.

Coelenteraten. Zu nennen sind hier Meerpolypen (Aktinien) und Medusen (Quallen, Physalia), die auf dem Körper und den Tentakeln mit einer großen Zahl von Nesselorganen bedeckt sind. Aus den Tentakeln einer Aktinie wurde durch Extraktion der eiweißartige Giftstoff Kongestin (17) von hoher Wirksamkeit isoliert: d. l. m. $4 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$ g/kg Hund. Er wird durch kurzes Erhitzen auf 105° inaktiviert, gibt Eiweißreaktionen und führt zu einer Anaphylaxie. Aus Physaliaarten wurde ein vermutlich ebenfalls eiweißartiges Gift gewonnen (Hypnotoxin (18)), das den Tod durch Atemlähmung herbeiführt und bereits bei 55° inaktiviert wird. Neuere Untersuchungen liegen über das Nesselgift aus Seeanemonen vor (19). Es erwies sich nach Zusammensetzung und Reaktionen als ein Protein von verhältnismäßig niedrigem Molekulargewicht (gegen 2000). Bemerkenswert ist sein Schwefelgehalt von 2—4,6 %.

Echinodermata. Hier sind es Seeigel und Seesterne und Verwandte, die mit ihren Pedicellarien, Dornen oder ähnlichen Organen ihrem Beutetier Gifte verabfolgen. Kaninchen, Katzen oder Hunde gehen an Atemlähmung zugrunde. Für die Eiweißnatur dieser wenig untersuchten Giftstoffe spricht die Tatsache, daß Kaninchen aktiv mit ihnen immunisiert werden können (20).

Vermes. Zahlreiche Würmer produzieren Giftstoffe. Zuverlässige Angaben darüber, daß es sich um Proteine handelt, fehlen jedoch.

Spinnen können mit Giftstoffen aus Giftdrüsen in den Basalgliedern des Fühlerkiefers ihre Beute töten (auch Spinneneier enthalten Giftstoffe). Offenbar handelt es sich um Proteine, denn die Gifte sind hochmolekular, dialysieren nicht und werden durch Erhitzen inaktiviert. Ihre Wirkungsweise am Warmblüter ist mannigfaltig, z. T. hämolysierend, Pupillen erweiternd, zu Zungenschwellung und Erbrechen führend. Die Immunisierung ist möglich.

Skorpione. Neben den weiter unten zu besprechenden Schlangengiften gehören die Gifte der Skorpione (Buthus- und Scorpiusarten) zu den bekanntesten des Tierreichs. Es handelt sich bei ihnen zweifellos um hochgiftige Proteine (Gift aus australischen Scorpionen d. l. m. $2 \cdot 10^{-4}$ g/kg Meerschwein), deren Wirkung in schmerzhaften Schwellungen, Krämpfen und Atemstillstand besteht. Durch Immunisierung von Tieren lassen sich Antisera gewinnen, die zur Bekämpfung der Bißfolgen in manchen Ländern [2]) in den Handel kommen.

Insekten. Giftige Insekten sind zahlreich: Fliegen, Mücken, Bienen, Käfer u. a. Man kann vermuten, daß die Giftstoffe, die meist in besonderen Apparaten zur Verwendung gelangen, vielfach zu den Eiweißstoffen gehören. Nachgewiesen ist dies nur selten. Am besten untersucht ist das Gift der Bienen (22, 23), weniger das der Wespen, Hornissen und Hummeln. Das Bienengift hat besonderes Interesse gefunden, weil es therapeutische Verwendung findet. Seine chemische Natur ist jedoch noch wenig geklärt. Festzustehen scheint, daß es aus 2 Komponenten besteht (23) (im folgenden I und II genannt), die in chemischer und biologischer Hinsicht verschieden sind. I ist eine schwach saure, verhältnismäßig schnell dialysierende Substanz, die Stickstoff und Phosphor enthält, wärmeempfindlich ist und krampferzeugend wirkt (d. l. m. 0,5 g/kg Maus). II dialysiert langsam, ist schwach basisch, haltbarer als I, wärmebeständig und gibt Biuretreaktion. Der Tod tritt unter Lähmungserscheinungen ein, d. l. m. 0,42 g/kg Maus. Offenbar ist keiner von beiden Stoffen bisher rein erhalten worden. II scheint jedoch ein Eiweißstoff zu sein, während dies bei I noch fraglich ist.

Unter den Coleopteren sind Käfer und deren Larven aus der Kalahari (Diamphidia simplex, Blepharida evanida) zu nennen, deren Gesamtextrakte hochgiftig (24) sind und die von den Eingeborenen als Pfeilgifte verwendet werden. Die Eiweißnatur dieser Gifte ist jedoch umstritten (25).

Mollusca. Tintenfischarten (Octopus) erzeugen einen Giftstoff, der als eiweißartig angesprochen wird (26). Über seine Eigenschaften ist jedoch nichts Näheres bekannt.

Fische. Unter den Fischen mit Giftapparat ist vor allem die bekannte Muräne (Murana helena) zu nennen, deren Biß und seine Wirkungen schon im Altertum bekannt waren und beschrieben wurden (27). Durch den Biß mit den Gaumenzähnen wird ein Giftstoff, der aus Gaumenschleimhautdrüsen sezerniert wird, in die Wunde gebracht. Wahrscheinlich handelt es sich auch hier um einen eiweißartigen Giftstoff, da dieser beim Erwärmen eine Inaktivierung erfährt.

Zahlreich sind die Fische, die mit den Stacheln ihrer Flossen Giftstoffe abgeben. Erwähnt sei hier der Trachinus draco (Petermännchen), der während des Krieges auf dem Fischmarkt erschien, ein in den Küstengewässern der Meere der gemäßigten Zone verbreiteter Fisch. Bei ihm ist der Hauptstachel der Rückenflosse mit einer Giftdrüse verbunden. Der Stich erzeugt schmerzhafte Schwellungen. Kaninchen lassen sich mit dem Giftstoff immunisieren (28).

Amphibien. Die bekanntesten Gifte aus den Hautdrüsen der Krötenarten gehören zu den Steroiden, die der Feuersalamander sind ebenfalls niedrig molekulare Stoffe. Kröten, Frösche, Molche und Axolotl sondern jedoch aus den Schleimdrüsen der Haut recht wirksame Gifte ab, die zu den Eiweißstoffen gehören. Dies ergibt

[2]) Instituto Butantan Sao Paulo; Lister-Institute, London; Institut Pasteur, Paris.

sich insbesondere daraus, daß Meerschweinchen oder Kaninchen damit immunisiert werden können (29).

Reptilien. Hier sei zunächst die mexikanische Krustenechse Heloderma horridum genannt, die den zur Beute ausersehenen Tieren durch Biß Gift verabfolgt. Mit Helodermagift ist die Immunisierung von Meerschweinchen möglich (30).

Vor den Giftschlangen, den bekanntesten aller giftigen Tiere, sei noch eines der merkwürdigsten Tiere, das Schnabeltier (Ornithorhynchus paradoxus) genannt. Es hat an seinen Hinterfüßen Sporen, die durch einen Kanal mit Giftdrüsen im Unterschenkel in Verbindung stehen, deren Sekret ein Proteingift zu sein scheint.

Schlangen. Die Schlangen, insbesondere die Giftschlangen, haben in Sage und Geschichte, in Kunst und Religion, bedeutendes Interesse gefunden, auf das in diesem Rahmen nicht näher einzugehen ist. Aber auch die wissenschaftliche Forschung hat sich in erheblichem Maße mit den eiweißartigen Giftstoffen der Schlangen beschäftigt.

Deshalb ist die heutige Kenntnis von der chemischen Natur der Schlangengifte wesentlich weiter fortgeschritten als die der meisten anderen im Vorangehenden behandelten Gifte. Entsprechend den beiden großen Gruppen von Giftschlangen, den Colubriden (Nattern), zu denen z. B. die Cobraarten (Naja) gehören, und den Viperiden (Ottern), zu denen die Klapperschlangen (Crotalusarten) oder die europäischen Ottern zu rechnen sind, hat man es mit verschiedenen Gifttypen zu tun. Die Schlangengifte sind Gemische biologisch unterschiedlich wirkender Komponenten, die auch chemisch verschieden sind, von denen die eine oder die andere stark überwiegen kann. An wichtigsten Bestandteilen sind zu nennen:

Neurotoxine, die auf die Atmung lähmend wirken (zentral oder peripher), aber auch die Extremitäten lähmen. Sie finden sich vorwiegend im Sekret der Colubriden. Im Gift der Viperiden trifft man Neurotoxine, die die vasomotorischen Nerven lähmen.

Hämorrhagine findet man reichlich in den Giften der Viperiden. Sie schädigen die Gefäßendothelien, führen zu blutigen Infiltrationen und schmerzhaften Schwellungen.

Hämolysine sind ebenfalls wichtige Komponenten der Viperidengifte. Wie der Name sagt, vermögen sie in sehr wirksamer Weise eine Lyse der Erythrocyten herbeizuführen.

Weiterhin seien an Bestandteilen der Schlangengifte, die ebenfalls Eiweißnatur besitzen dürften, solche genannt, die von Einfluß auf die Gerinnungszeit des Blutes sind.

Bei den Hämolysinen handelt es sich um Enzyme, die aus dem Lecithin einen Fettsäurerest abspalten, sodaß ein Mono-palmityl-glycerin-phosphorsäure-cholinester entsteht (32). Letzterer bildet auf den Blutkörperchen eine monomolekulare Schicht, die zur Hämolyse Anlaß gibt (33). Von den Neurotoxinen sind diejenigen der Naja flava und Naja tripudians (Brillenschlange) in hohem Reinheitsgrade gewonnen worden (34). Es handelt sich um Proteine mit niedrigen Molekulargewichten (3000 bis 4000), hohem Schwefelgehalte (5,5 %) und einer d. l. m. von 0,8—1 · 10^{-4} g/kg Maus. Die Hauptmenge des Schwefels liegt als Disulfidgruppe vor, ohne mit der Giftwirkung im Zusammenhang zu stehen. Jedoch ließ sich das Vorhandensein einer besonderen für die Giftwirkung verantwortlichen, vielleicht schwefelhaltigen Atomgruppierung von nicht ganz bekannter Struktur mit Sicherheit nachweisen (35). Es liegt also hier ein Eiweißstoff mit einer prosthetischen „toxophoren" Gruppe vor. Wesentlich anders sind die Toxine aus Crotalusarten (Klapperschlangen) aufgebaut. Einer dieser Stoffe wurde in makroskopischen Kristallen (36) vom Mol.-gewicht 30 000 gewonnen (37). Er hatte die gleiche Wirksamkeit wie reinste amorphe Produkte (3,5 · 10^{-3} g/kg Maus) und 4 % Schwefel. Hier ließ sich zeigen, daß der in Form von S-S-Cystinbindungen vorliegende Schwefel für die Giftwirkung notwendig ist. Eine Reduktion zur S-H-Bindung führt zur Inaktivierung. Ob neurotoxische und hämolytische Wirkung dem gleichen Stoffe zukommen, ist umstritten (28). Schlangengifte sind starke Antigene. Sie werden in allen Ländern, in denen die Bevölkerung durch Giftschlangen bedroht ist, zur Erzeugung von Immunseren benützt, die umfassende therapeutische Verwendung finden. Eine Aktivimmunisierung von Menschen ist wegen der kurzen Dauer ihrer Wirksamkeit nicht gebräuchlich.

Ursachen der Giftigkeit.

Von besonderem Interesse bei den besprochenen Stoffen muß natürlich die Frage sein, worauf es zurückzuführen ist, daß gewisse Eiweißstoffe eine so ungewöhnlich große Giftigkeit entfalten können, und darin alle bekannten niedrigmolekularen Giftstoffe bei weitem übertreffen können. Wie schon in der Einleitung erwähnt wurde, können die giftigen Eiweißstoffe in ihrer Wirkungsweise den eigentlichen Wirkstoffen (Vitaminen, Hormonen, Enzymen) an die Seite gestellt werden, mit dem Unterschiede, daß ihre Bedeutung für den Ablauf der Lebensvorgänge in dem von ihnen betroffenen Organismus das umgekehrte Vorzeichen hat, wie die der erwähnten Wirkstoffe. Bei beiden Stoffgruppen muß es sich jedoch wegen der Kleinheit der zur erfolgreichen Wirkung ausreichenden Agensmengen um die katalytische Steuerung von Lebensprozessen handeln, wie dies ja auch bei Enzymen definitionsgemäß der Fall ist und bei einigen Vitaminen durch ihren Zusammenhang mit Enzymen bewiesen ist.

Die wichtigsten Möglichkeiten für eine derartige Rolle der Toxine im betroffenen Organismus wären folgende:

1) Das Proteingift katalysiert im Organismus Prozesse, die schädigend wirken, d. h. die die Harmonie der im normalen Lebensgeschehen ineinandergreifenden und aufeinander abgestimmten Vorgänge in entscheidendem Maße stören. Sie wären also „negative" oder „destruierend" wirkende Fermente. Ein Beispiel für ein solches Verhalten ist die erwähnte Lecithinase aus Schlangengiften, die für deren hämolytische Wirkung verantwortlich ist. Auch die Giftwirkung des Trypsins oder der Urease bei intravenöser Verabfolgung müssen so gedeutet werden.

2) Eine andere Möglichkeit für eine schädigende Wirkung wäre die, daß das Toxin als Eiweißstoff bestimmter Struktur bei Fermenten, die aus Apoferment (Eiweißträger) und Coferment bestehen, vermöge einer größeren Affinität zum Coferment das Apoferment aus seiner Bindung an dieses verdrängt. Da die Wirkung des Cofermentes von der Natur seines spezifischen Apofermentes abhängt, könnten so durch Ausschaltung wichtiger Enzyme große Effekte erzielt werden, beruht doch auch die gewaltige Giftwirkung der Blausäure auf ihrer Fähigkeit, die Oxydationsprozesse im Organismus zu unterbinden. Die Einordnung in Proteingifte mag in die eine oder die andere Gruppe, je nach ihrer chemischen Natur, möglich sein. Dabei dürften diejenigen Gifte, die eine besondere prosthetische Gruppe enthalten (Neurotoxin aus Najagift) wohl zur ersteren Gruppe zu zählen sein.

Aufbau der Toxine.

Versucht man, aus dem, was über die Struktur der giftigen Eiweißstoffe bekannt ist, Rückschlüsse auf die Ursache ihrer Giftigkeit zu ziehen, so sind dabei andere Gesichtspunkte mit zu berücksichtigen, als bei niedrigmolekularen Giftstoffen, z. B. bei Alkaloiden. Bei letzteren wird man im allgemeinen sagen können, daß ihre Wirkungen durch das Molekül als ganzes bedingt sind. Wird das Molekül an irgendeiner Stelle verändert, so

tritt eine mehr oder minder tiefgehende Abwandlung der Wirkung, gegebenenfalls bis zu ihrer weitgehenden Aufhebung ein. Am ehesten sind mit diesen niedrigmolekularen Giften wegen ihres verhältnismäßig kleinen Molekulargewichts die oben besprochenen Gifte des Knollenblätterschwammes zu vergleichen. Die Tatsache, daß das Phalloidin wahrscheinlich durch eine ringförmige Struktur und durch seinen Gehalt an zwei sonst nicht auftretenden Aminosäuren von den üblichen aus Eiweißstoffen durch partielle Hydrolyse entstehenden Polypeptiden verschieden ist, dürfte für seine besondere Wirkungsweise maßgebend sein.

Bei den höhermolekularen Toxinen liegen die Verhältnisse zweifellos verwickelter. Chemische Eingriffe an für die Giftwirkung bedeutungslosen Stellen des Moleküls können ohne jeden Einfluß auf diese sein, während sie an anderen Stellen (prosthetischen Gruppen) sehr wirksam sind. Beim Neurotoxin aus Kobragiften ist mit einer auch in ihren chemischen Eigenschaften von den ungiftigen Eiweißstoffen abweichenden prosthetischen Gruppe zu rechnen. Andererseits gibt es viele Proteingifte, in denen man trotz sorgfältiger Untersuchungen keine anderen, als die in ungiftigen Eiweißstoffen vorkommenden Aminosäuren hat finden können und auch keinen ungewöhnlichen Gehalt an den einzelnen von ihnen hat feststellen können. Hier handelt es sich möglicherweise um eine andersartige Reihenfolge der Verknüpfung der Aminosäuren. Es deuten aber eine Reihe von Beobachtungen darauf hin, daß auch die Form der Moleküle eine wichtige Rolle für die Wirksamkeit spielt. Zunächst sei auf eine Beobachtung an synthetischen Eiweißkohlehydratverbindungen hingewiesen, bei der möglicherweise dieser Gesichtspunkt zu berücksichtigen ist. Kuppelungsprodukte von Pektin an Gelatine oder an Pferdeserumglobulin (13) sind ungiftig wie ihre Komponenten. Verknüpft man die Komponenten jedoch über dazwischenliegende Tyrosinreste zur Pektyltyrosyl-gelatine bzw. zum Pektyl-tyrosyl-globulin, so erhält man hochgiftige Stoffe ($1 \cdot 10^{-3}$ g/kg Kaninchen). Gewichtige Gründe für den Zusammenhang zwischen der Molekülform und der Giftigkeit von giftigen Eiweißstoffen ergeben sich ferner bei der Prüfung aller der Reaktionen, die zur Inaktivierung der Toxine führen. Die Form eines Proteinmoleküls wird entscheidend durch die Wechselwirkung der in ihm vorhandenen polaren Gruppen (NH_2, COOH, CONH) bestimmt (Wasserstoffbindungen). Chemische Umsetzungen an diesen Gruppen führen gewöhnlich zu einer Inaktivierung, mindestens zu einer starken Abschwächung der Giftigkeit. Bekannt ist die Inaktivierung von Toxinen durch Formaldehyd, die zu einer Blockierung der ε-Aminogruppen der Lysinreste führt, oder die Acetylierung dieser Aminogruppen mit Keten. Von der Formol-inaktivierung der Bakterientoxine wird bei der Aktivimmunisierung und der Serumgewinnung viel Gebrauch gemacht. Auch die Desamidierung der Lysinreste mit salpetriger Säure wirkt inaktivierend. Sie ist mit einer beträchtlichen Steigerung der Viscosität von Proteinlösungen verbunden (40), die als ein Übergang vom Sphärokolloid zum Linearkolloid zu deuten ist. Ein solcher Zusammenhang zwischen Formveränderung und Inaktivierung vermag eine Reihe weiterer Phänomene zu erklären, die sonst nicht recht verständlich sind. Lösungen von Diphtherietoxin (15, 16) — und Ähnliches trifft in schwächerem Maße für solche des Neurotoxins von Najaarten zu — werden durch Schütteln inaktiviert. Derartige Lösungen pflegen besonders stark zu schäumen. Dabei sind die Moleküle offensichtlich in hohem Maße wegen der starken Oberflächenvergrößerung der Oberflächenspannung ausgesetzt und erleiden eine Veränderung ihrer Gestalt. Grundsätzlich analog dürfte die Inaktivierung von Diphtherietoxin durch Seifenlösung zu deuten sein.

Die Toxine werden durch Wärmedenaturierung mehr oder weniger schnell ihrer Giftwirkung beraubt. Aus den zahlreichen Untersuchungen über die Denaturierung ergibt sich, daß diese in einer tiefgehenden Änderung der Form der Eiweißmoleküle besteht, derart, daß unter räumlicher Trennung der NH- und COOH-Gruppen eine Aufhebung von Wasserstoffbindungen und ein Übergang aus einem Sphärokolloid in ein Linearkolloid stattfindet (41). Auch die Tatsache, daß viele Toxine durch Adsorption und Elution stark an Wirksamkeit verlieren können, dürfte so zu verstehen sein, daß es sich um eine Deformierung der Molekülform handelt, so, wie durch Adsorption auch eine Eiweißdenaturierung erzielt werden kann.[3])

Überblickt man das Gesamtgebiet der giftigen Eiweißstoffe, so fällt sofort auf, daß, trotzdem eine beträchtliche Anzahl von Untersuchungen über diese biologisch so interessanten Stoffe vorliegen, doch die meisten von ihnen noch nicht in reiner Form dargestellt wurden, daß ferner über die chemische Struktur der kleinen Zahl rein erhaltener bisher so wenig bekannt ist. Dies ist bedingt dadurch, daß zu den üblichen Schwierigkeiten der Reindarstellung und Strukturuntersuchung von Proteinen bei den Toxinen häufig noch ihre große Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen des p_H-Wertes, Temperaturerhöhung u. ä. hinzukommt. Demgegenüber fällt der Umstand, daß man den Fortgang der Reinigung und chemische Eingriffe vielfach durch eine Veränderung der biologischen Wirksamkeit verfolgen kann, nicht so sehr erleichternd ins Gewicht. Andererseits muß der Untersuchung dieser Stoffe nicht nur mit Rücksicht auf ihr allgemeines wissenschaftliches Interesse und ihre praktische Anwendung in der Therapie (Bakterientoxine) große Bedeutung zuerkannt werden, sondern es ist auch zu erwarten, daß die Kenntnis der Struktur und Wirkungsweise von biologisch so hochaktiven Substanzen von Wichtigkeit für das Verständnis der normalen Lebensvorgänge sein kann.

Chemisches Institut d. Westf. Landesuniversität Münster.

Eingegangen am 10. Dezember 1946.

Literatur.

1. PAINTER u. FRANKE, J. biol. Ch. **111**, 643 (1935); HURD-KARRER, J. Agr. Res. **49**, 343 (1934); **50**, 493 (1935). — 2. CARNOT, GERARD u. MOISSONNIER, Ann. Inst. Pasteur **35**, 37 (1928). — 2a. ROCHA e SILVA C. **1940** I, 1380. — 3. OSBORNE, MENDEL u. HARRIS, Am. J. Physiol. **14**, 259 (1905); KARRER, Zschr. physiol. Ch. **135**, 129 (1924). — 4. KARRER, HELV, **8**, 384 (1925). — 5. WIELAND u. Mitarb. A **548**, 1 (1941). — 6. WIELAND u. Mitarb., A. **533**, 93 (1937); **543**, 171 (1940). — 7. SLOTTA u. FORSTER, B **71**, 1076 (1938). — 8. MICHEEL u. JUNG, Zschr. physiol. Ch. **239**, 217 (1936). — 9. MICHEEL, DIETRICH u. BISCHOFF, Zschr. physiol. Ch. **249**, 157 (1937). — 10. G. HAHN u. Mitarb., B. **69**, 2407, 2764 (1936); **70**, 681, 1637 (1937); **72**, 1281 (1939); TETSCH u. WOLF, Bioch. Zschr. **288**, 126 (1936). — 11. PAPPENHEIMER, J. biol. Ch. **120**, 543 (1937). — 12. EATON, Bact. Rev. **2**, 19 (1938). — 13. MICHEEL u. DOERNER, Zschr. physiol. Ch. **280**, 92 (1944). — 14. PAPPENHEIMER, MUELLER u. COHEN, Proc. Soc. Exp. Biol. Med. **36**, 795 (1937). — 15. PAPPENHEIMER u. Mitarb., Brit. J. Exp. Path. **18**, 239 (1937); J. biol. Ch. **120**, 543 (1937); **125**, 201 (1938). — 16. EATON, J. Immun. **30**, 361 (1936); Bact. Rev **2**, 3 (1938). — 17, RICHET, C. r. Soc. Biol. **55**, 246 (1903); **56**, 302 (1904). — 18. PORTIER u. RICHET, C. r. **134**, 247 (1902). — 19. SONDERHOFF, A. 525, 138 (1936). — 20. V. HENRI u. KAYALOF, C. r. Soc. Biol. **60**, 884 (1906). — 21. M. PHISALIX, Bull. Mus. **1896**, Nr. 2. — 22. LANGER, Arch. exp. Pathol. Pharmak. **38**, Heft 5/6 (1892); FLURY, ibid. **85**, 319 (1920). — 23. TETSCH u. WOLF, Bioch. Zschr. **288**, 126 (1936); G. HAHN u. Mitarb. B. **69**, 2407, 2764 (1936); **70**, 681, 1637 (1937); **72**, 1281 (1939). — 24. LEVIN, Arch. exp. Path. u. Pharmak. **69** (1912) u. Die Pfeilgifte **22**, 65 (1920). — 25. HEUBNER, Arch. exp. Path. **57**, 362 (1907). — 26. FLEIG u. ROUVILLE, C. r. Soc. Biol. **69**, 502 (1910). — 27. OPPIAN, De piscibus. 28. BRIOT, C. r. Soc. Biol. **54**, 1172 (1902). — 29. M. PHISALIX, Bull. Soc. Path. exot. **6**, 190 (1913). — 30. M. PHISALIX, C. r. Ac. Sc. **154**, 1434 (1912). — 31. MARTIN u. TIDSWELL, Proc. Linn. Soc. of N. S. W. (1884); NOC., C. r. Soc. BiBol. **56**, 451 (1904). — 32. DELEZENNE u. FOURNEAU, Bull. Soc. chim. (4) **15**, 421 (1914). — 33. GORTER u. HERMANS, Rec. **62**, 681 (1943). — 34. MICHEEL u. Mitarb., Zschr. physiol. Ch. **239**, 217 (1936); **249**, 157 (1937); WIELAND u. KONZ, Nachr. Bayr. Akad. Wiss. **1936**, 177. — 35. MICHEEL u. BODE, Naturwiss. **26**, 298 (1938); B. **71**, 2653 (1938). — 36. SLOTTA u. FORSTER, B. **71**, 1076 (1938). — 37. GRAEN u. SVEDBERG, Bioch. J. **32**, 1375 (1938). — 38. GOSH u. DE Nature **143**, 380 (1939). — 39. Das Gramicidin (Bac. brevis) ist durch seinen ungewöhnlichen Gehalt an Leucin (70 Proz.) ausgezeichnet. — 40. JIRGENSONS, C. **1943** II (1807); J. prakt. Ch. **160**, 237; **161**, 213; **162**, 224 (1943). — 41. ASTBURY u. Mitarb., Soc. **1935**, 846; Bioch. J. **29**, 2351; COHN, Mc. MEEKIN, EDSALL u. BLANCHARD, J. biol. Chem. **100**, XXVIII (1939).

[3]) Diese Aussagen über den Zusammenhang zwischen Molekülform und Wirksamkeit sind analog auf diejenigen eiweißartigen Wirkstoffe anzuwenden, die unter gleichartigen Bedingungen inaktiviert werden.

Zur Kritik des „Biogenetischen Grundgesetzes".

Von OTTO H. SCHINDEWOLF.

Das „Biogenetische Grundgesetz", 1866 von E. HAECKEL formuliert, sachinhaltlich aber bereits wesentlich länger bekannt, besagt in seiner kürzesten Fassung: „Die Ontogenie ist eine abgekürzte Rekapitulation der Phylogenie", oder: „die Keimesgeschichte des Individuums bildet einen Auszug der Stammesgeschichte". Beide sollen ferner in derartigen Beziehungen stehen, daß die Phylogenie die Ursache, die „causa efficiens" der Ontogenie liefert.

Die Beurteilung dieses „Biogenetischen Grundgesetzes" schwankte im Laufe der Jahre und bei den verschiedenen Autoren zwischen den beiden Extremen uneingeschränkter Anerkennung und entschiedenster Ablehnung. Wenn sein Geltungsbereich geprüft werden soll, so setzt das selbstverständlich eine Kenntnis *beider* Glieder der behaupteten Gleichung, der *Ontogenie* und der *Phylogenie*, voraus. Diese Kenntnis vermag die heute lebende Organismenwelt allein nicht zu vermitteln. Mit Recht schrieb daher einst H. SPEMANN vom Standpunkte des Zoologen: „Palingenese läßt sich — jedenfalls in den meisten Fällen — nur ausschließen, nicht beweisen. Wir können fast immer nur sagen: solch ein Tier *kann nicht* gelebt haben, solch ein Tier *kann* gelebt haben; nicht aber: solch ein Tier *muß* gelebt haben." Dieser Mangel haftet allen kritischen Erörterungen des Biogenetischen Grundgesetzes an, die sich im wesentlichen auf das rezente Material stützen. Die bisherigen Stellungnahmen aber stammen nahezu ausschließlich von Zoologen, vergleichenden Anatomen und Botanikern.

Eindeutigere Antworten sind demgegenüber von der *Paläontologie* zu erwarten, der einzigen biologischen Disziplin, der die für derartige Fragen unerläßliche historische Komponente eignet. Sie verfügt in zahlreichen günstig gelagerten Fällen nicht allein über die Möglichkeit, den Ablauf der Ontogenie zu beobachten, sondern auch die Phylogenie aufzuhellen oder zum mindesten die Entwicklung gewisser Merkmale in der Zeitfolge festzustellen. Um in der Ausdrucksweise SPEMANNs zu bleiben, vermag sie daher zu sagen: solch ein Tier, wie es gegebenenfalls aus der Ontogenese erschlossen wurde, *hat gelebt;* denn sie kann dessen Reste unmittelbar vorweisen. Hier ist der Paläontologie eine Aufgabe gestellt, zu der sie sich bisher noch kaum geäußert hat, und wir wollen im Folgenden kurz darzulegen versuchen, wie das Biogenetische Grundgesetz sich im Lichte des fossilen Stoffes darstellt.

I.

Einige begrifflich-logische Bemerkungen sind zunächst vorauszuschicken. Was ist *Phylogenie?* Stellt sie einen eigenen, selbständigen, realen Vorgang dar, der von den Einzelorganismen und ihren Ontogenesen unabhängig ist?

Das ist zweifellos nicht der Fall. Die Träger und Ausdrucksformen der stammesgeschichtlichen Entwicklung sind die *Individuen;* sie allein sind das Konkrete, anschaulich Gegebene. Wenn wir dagegen von einer Phylogenie der Arten, der Gattungen, Familien und höheren Kategorien des natürlichen Systems sprechen, so handelt es sich um *abstrakte Vorstellungen,* die aus der Kette der aufeinanderfolgenden Individuen gewonnen sind, wobei wir unter dem Individuum seinen gesamten Lebenszyklus, also nicht nur die ausgewachsene Reifeform, sondern auch ihren individuellen Werdegang, ihre Ontogenese, zu verstehen haben. Aus dieser historischen Abfolge der Ontogenesen werden — je nach dem Grade der Abstraktion — die kleineren oder größeren Wandlungsschritte herausgegriffen und unter Fortlassung der dazwischen liegenden Entwicklungsstrecken nach dem Zeitrafferprinzip zusammengestellt. Die Phylogenie ist also lediglich eine künstlich getroffene Auswahl und kondensierte Aneinanderreihung derjenigen Ontogenesen aus der Gesamtreihe, in denen deutliche Formwandlungen sichtbar sind. Sie bildet mithin keinen realen Vorgang, welcher der Ontogenie als selbständiger, unabhängiger Vergleichspartner gegenübersteht.

Im Gegensatz zu HAECKEL und vielen seiner Nachfolger kann daher auch keine Rede davon sein, daß diese abgezogene Phylogenie die mechanische Ursache der Ontogenie darstelle; denn ein abstrakter Begriff oder Vorstellungskreis kann keine realen Wirkungen entfalten. Der Sachverhalt ist vielmehr der, daß sowohl die phylogenetischen Wandlungen wie ihre primären, gegenständlichen Erscheinungsformen, die ontogenetischen Umprägungen, durch die gleichen Ursachen und Veränderungen bedingt sind, die sich letztlich im molekularen und atomaren Bereiche abspielen. Bei allen Betrachtungen über den Beziehungskomplex zwischen der Ontogenie und der Phylogenie aber geht es allein um die konkreten somatischen Verwirklichungen jener physiko-chemischen Änderungen, und diese bestehen in der *Kette der aufeinanderfolgenden Ontogenesen.* So umschreibt auch das B. G. lediglich deskriptiv einen morphologisch-historischen Sachverhalt; es stellt Beziehungen zwischen Formzuständen und Entwicklungsstufen fest, hat jedoch keine kausalen physiologischen Funktionen.

Es wäre zweifelloser Unsinn, zu behaupten, daß der Vater die Ursache seines Sohnes, die „causa efficiens" der zwischen ihnen bestehenden morphologischen Übereinstimmungen sei. Von Ursache und Wirkung kann nur bei *Vorgängen* und den durch sie ausgelösten Veränderungen, nicht aber bei einem Vergleich von *Formzuständen* gesprochen werden. Es liegt also keine echte Wirkungskausalität, sondern eine *Beziehungskausalität* im Sinne von W. ROUX vor. Die Wirkungsweise der Faktoren aber, die das Gestaltungsgeschehen ursächlich bestimmen, ist der historisch-morphologischen Betrachtungsweise nicht zugänglich; ihre Erforschung ist Sache der kausal-analytischen Entwicklungsphysiologie.

Da die Ontogenie ein historisches Produkt ist, wirkt sich in ihr allerdings die Vergangenheit aus. Sie wiederholt jedoch nicht, wie es nach dem B. G. den Anschein hat, eine Phylogenie irgendwie besonderen, primären Charakters, sondern *Ontogenie wiederholt immer nur Ontogenie,* d. h. sie bildet die individuelle Entwicklung der Eltern entweder unverändert ab oder zeigt ihr gegenüber gewisse Umprägungen. Soweit es sich dabei um erbliche Merkmalsänderungen handelt, liefert die betreffende Ontogenese einen schöpferischen Baustein der künftigen Phylogenese; es werden in ihr die Wandlungen vorbereitet oder vollzogen, die der anschließenden Stammesentwicklung ihr Gepräge geben. Die Ontogenese bildet die konkrete Elementareinheit der Phylogenie, sie „schafft" die Phylogenie, wie u. a. bereits W. GARSTANG feststellte, nicht aber wird umgekehrt die Ontogenie durch die Phylogenie bedingt. Zwar ist das Gesicht der Ontogenie gleich einem Januskopf gleichzeitig nach vorn wie nach hinten gewandt, sie ist stets Bindeglied zwischen Vergangenheit und Zukunft. Die Schicksale der jeweils vorausgegangenen Stammesentwicklung sind daher zwar in ihr aufgezeichnet, aber diese Stammesentwicklung setzt sich aus Umwandlungsschritten zusammen, die von früheren Ontogenesen getan wurden bzw. in ihnen sichtbaren Ausdruck gefunden haben.

II.

Die Aufgabe bei einer Überprüfung des B. G. besteht darin, die historisch aufeinanderfolgenden Ontogenesen miteinander zu vergleichen und festzustellen, in welcher Weise Formänderungen in ihnen hervortreten. Nach

HAECKEL liegen dabei zwei verschiedene Verhaltungsweisen vor: 1. Die Ontogenese zeigt eine Auszugsentwicklung oder *Palingenesis;* sie rekapituliert getreu den Formwandel in der vorausgegangenen Kette von Ontogenesen. 2. Die Ontogenie wird beherrscht von einer Störungsentwicklung oder *Caenogenesis,* die, insbesondere durch embryonale Anpassung an bestimmte Bedingungen der Keimesentwicklung, Neubildungen ohne entsprechende Gegenstücke in der Stammesgeschichte hervorbringt. Dieser caenogenetische Entwicklungsmodus läßt nach HAECKEL keine Rückschlüsse auf einstige phylogenetische Formzustände zu; er „verdecke" vielmehr geradezu die Ahnenreihen und „verfälsche" unser Vorstellungsbild von ihnen.

Unter dem Sammelbegriff der Caenogenesen wurden von HAECKEL ganz heterogene Dinge vereinigt: Verschiebungen in der Anlagenfolge, in der zeitlichen und räumlichen Korrelation der Organe (Heterochronien, Heterotopien), Abkürzungen des Entwicklungsganges und Ausfälle einstiger Entfaltungsstufen (Acceleration, Lipogenesis), andererseits aber auch die Bildung von Embryonalhüllen und vorübergehenden Larvalorganen, die auf frühontogenetische Entwicklungsstadien beschränkt sind, am Aufbau des definitiven Organismus jedoch keinen Anteil nehmen. Davon sind die zuerst genannten Erscheinungen, nämlich die Heterotopien und Heterochronien, Beschleunigungen der Ontogenese und Auslassungen einzelner Stadien, zweifellos eng mit der Palingenese verknüpft und finden hier ihren naturgemäßen Platz. Wenn die Palingenese „Auszugsentwicklung" bedeutet, dann gehören notwendigerweise die Vorgänge dazu, welche die Abkürzung und Raffung der Rekapitulation bewirken, also einen wesentlichen Charakter des Wiederholungsgeschehens bedingen.

Etwas völlig davon Verschiedenes sind die bezeichnenden embryonalen und larvalen Organe, die dem Schutze, der Ernährung, Atmung, Fortbewegung usw. der Embryonal- und Larvalstadien dienen, danach aber verschwinden und nicht in die anschließende, zum Reifestadium führende Ontogenese übernommen werden. Für die Ermittlung der Alterszustände aus der Ahnenreihe sind sie infolgedessen tatsächlich nicht zu verwenden. Es ist jedoch auch nicht richtig, daß sie deshalb keine oder nur beschränkte phylogenetische Bedeutung haben. Die Larvenstadien der Trochophora, des Nauplius usw. sind zweifellos von erheblicher stammesgeschichtlicher Tragweite; Amnion, Placenta, die Dottergefäße, die Prosuturen der Ammoneen und ähnliche vorübergehende Embryonalbildungen durchlaufen ferner eine ausgesprochene phylogenetische Entwicklung, bei der vielfach alle Erscheinungen der Palingenesis, also Wiederholung von Formzuständen der Vorfahren, Entwicklungsbeschleunigung, Stadienausfall usw., nachweisbar sind. In Übereinstimmung mit zahlreichen anderen Autoren beschränken wir den Begriff der Caenogenesis (= Meletogenie GEGENBAUR) allein auf die spezifischen Embryonal- und Larvalbildungen und ordnen ferner den hierher gehörigen Erscheinungskomplex als Sonderfall der Palingenese unter.

Andererseits gibt es aber tatsächlich durchgreifende Abänderungen der Ontogenese gegenüber denen der Vorfahren, die den „Ahnentypus verdecken" und, wie es HAECKEL vorgeschwebt haben mag, ein wirkliches Gegenstück zur Palingenese darstellen. Sie treten bereits in frühjugendlichen Stadien ein, zu einem Zeitpunkte, ehe eine Wiederholung der speziellen elterlichen Formzustände stattgefunden hat. Rekapituliert werden hier lediglich die ontogenetisch zuerst angelegten allgemeinsten Organisationsmerkmale des umfassenden Typus, dem die betreffenden Formen angehören; die Sondermerkmale dagegen, die für die Ahnform bezeichnend und für deren Wiedererkennung notwendig sind, werden abgeändert und durch neue Eigenschaften ersetzt. Für diesen Modus der ontogenetischen Entwicklung im Hinblick auf ihr Verhalten gegenüber der vorausgegangenen Stammesgeschichte wollen wir, zurückgreifend auf A. KOLLIKER, den Begriff der *Heterogenesis* wieder einführen.

Der palingenetische Entfaltungsmodus besteht alsdann, auf eine einfache Formel gebracht, in *terminalen* Abänderungen der Ontogenese bzw. gewisser Organogenesen, da es sich ja gewöhnlich nur um einzelne Organe bzw. Merkmalskomplexe handelt. Bis zu jenem Zeitpunkt der einsetzenden Umgestaltung besteht eine Rekapitulationsentwicklung; die jugendlichen und mittleren ontogenetischen Stadien sind ahnen*ähnlich.* Die Entwicklungsweise der Heterogenese ist demgegenüber durch *initiale* oder wenigstens sehr frühzeitige Abänderungen der Ontogenese gekennzeichnet; schon die jugendlichen bzw. mittleren Entfaltungsstadien sind infolgedessen elternähnlich. („Jugendstadien" sind unter unserem paläontologischen Gesichtswinkel die Frühstadien der Gehäuse- und Skelettbildung, die der spätembryonalen Entwicklungsperiode angehören.)

Insgesamt lassen sich die bisher beobachteten Fälle der ontogenetisch-phylogenetischen Beziehungen in folgender Weise klassifizieren (wobei wir uns bewußt sind, daß alle Klassifizierung einen gewissen Schematismus birgt und Grenzen von übertriebener Starrheit aufrichtet):

I. Palingenese s. l. Die Ontogenese bzw. die Organogenese der in Betracht gezogenen Organe und Merkmale verläuft elternähnlich und rekapituliert die speziellen Formzustände der vorausgegangenen Ahnenreihe. Die Abänderungen gegenüber den Vorfahren bestehen lediglich in einer allmählich fortschreitenden Addition oder Subtraktion von Endstadien, wobei phylogenetisch die Vorgänge der Acceleration oder der Retardation eingreifen.

1. *Palingenese* s. str. Die Entwicklung der Organe und Merkmale von ihrer Anlage bis zur definitiven Form verläuft geradlinig, ohne zwischengeschaltete Umwege.
2. *Apogenese.* Die Entwicklung der Organe und Merkmale von ihrer Anlage bis zur definitiven Form verläuft in Wellenlinien, unter Zwischenschaltung eines oder mehrerer Zyklen von Umwegen.
3. *Caenogenese.* Betrifft lediglich die Entwicklung der spezifischen Embryonal- oder Larvalorgane, die später abgestreift und nicht in den definitiven Organismus aufgenommen werden.

II. Heterogenese s. l. Die Ontogenese bzw. die Organogenese der in Betracht gezogenen Organe und Merkmale verläuft elternunähnlich und übernimmt lediglich die allgemeinen Formzustände des übergeordneten Bauplangefüges, nicht aber die speziellen Eigenschaften der Stammform. Die Abänderungen gegenüber den Vorfahren bestehen in sprunghaften Alterationen ontogenetischer Frühstadien.

1. *Heterogenese* s. str. Die alterierten Merkmale beherrschen von vornherein die Gesamtontogenese bis zu ihrem Endstadium.
2. *Proterogenese.* Die alterierten Merkmale bleiben zunächst auf die Jugendstadien beschränkt und werden im Alter durch eine Wiederaufnahme von Ahnenmerkmalen abgelöst. Bei den anschließenden Ontogenesen greifen die neu erworbenen Eigenschaften dann fortschreitend auf die Altersstadien über.
3. *Hysterogenese.* Die Jugendstadien erscheinen wie in den vorausgehenden Fällen alteriert; die abweichenden Merkmale sind jedoch nicht synchron entstanden, sondern erst später den Jugendstadien aufgeprägt.

Auf die Erscheinungen der Palingenese und der Caenogenese unseres obigen Schemas brauchen wir hier nicht weiter einzugehen; sie dürfen als bekannt gelten. Die Paläontologie liefert uns hervorragend klare und anschauliche Beispiele; Raummangel verbietet ihre Besprechung. Für die Heterogenese und Proterogenese

habe ich anderenorts wiederholt (so auch in dieser Zeitschrift 32, 1944) Belege gegeben. Wir können auch davon hier absehen. Einer Erläuterung bedürfen dagegen die neu eingeführten Begriffe der Apogenese und der Hysterogenese.

III.

Den Namen *Apogenese* schlage ich im Hinblick auf eine gleichmäßige Terminologie für einen Entwicklungsablauf vor, der von E. TH. NAUCK aufgedeckt und als „umwegige Entwicklung" bezeichnet wurde. Das Wesen dieses Vorganges besteht darin, daß die Entfaltung gewisser bezeichnender Merkmale oder Organe nicht geradlinig und folgerichtig auf einfachste Weise der Gestaltung im Reifestadium entgegensteuert. Zwischen Ausgangs- und Endzustand der Ontogenie sind vielmehr Ab- und Umwege eingeschaltet, die sich zunächst zunehmend von der generellen Entwicklungsrichtung entfernen und dann abnehmend sich ihr wieder nähern.

Eines der anschaulichsten Beispiele für diese umwegige Entwicklung oder Apogenese bildet die von NAUCK wiederholt geschilderte Retroversion des Tibia-

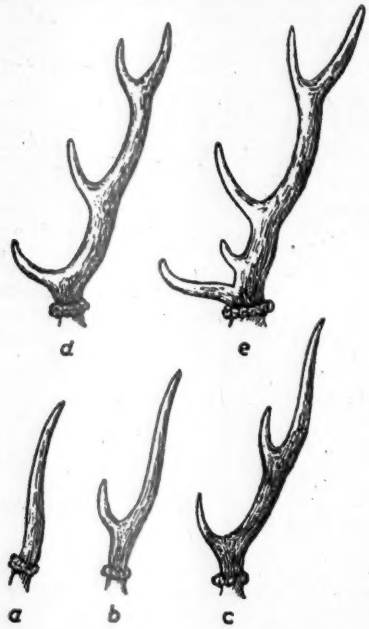


Fig. 1. Geweihentwicklung des Edelhirsches, Cervus (Elaphus) elaphus: a) Spießer, b) Gabler, c) Sechsender, d) Achtender, e) Zehnender. (Nach R. HESSE.)

Kopfes in der Ontogenese des Menschen: Der Neigungswinkel der proximalen Gelenkfläche zur Längsachse des Schienbeines ist im erwachsenen Zustande der gleiche wie im frühfetalen Stadium. Dazwischen aber liegen Entwicklungsstufen, die sich ganz erheblich von jenem Werte unterscheiden. Der Retroversionswinkel nimmt bis zur Geburt stetig und gesetzmäßig zu, um dann später wieder bis auf den ursprünglichen Betrag herabzusinken. NAUCK nimmt für diese Erscheinung eine mechanische Verursachung durch die Raumbehinderung und Zwangslage der Beine während der intrauterinen Entwicklung an; sie fällt damit unter den Begriff der metrothenen Caenogenese MEHNERTs.

Das Eingreifen derartiger von außen einwirkender mechanischer Faktoren ist jedoch nicht als entscheidend für die Apogenese zu betrachten, wie bereits die weiteren von NAUCK vorgelegten Beispiele zeigen. Der Schwerpunkt bei ihrer Definition und Abgrenzung ist vielmehr allein auf das grundsätzliche Auftreten morphologischer „Umwege" zu legen, für das sich auch gewisse paläontologische Beispiele namhaft machen ließen.

Wir dehnen ferner die Apogenese auf solche sonst nirgends einzuordnenden Fälle aus, wie sie uns bei der periodischen Geweih-Entfaltung der Hirsche entgegentreten: Im ersten Lebensjahre ist der Hirsch, beispielsweise unser Edelhirsch, geweihlos. Im zweiten Jahre bildet er einfache Knochenzapfen heraus (Spießer, Fig. 1a), die nach Jahresfrist wieder abgeworfen werden. Es folgt dann in den nächsten Jahren die Herausgestaltung der in Fig. 1b—e dargestellten Stadien, die jeweils von neuem aus einer geweihlosen Zwischenstufe aufgebaut werden. Diese Stadienfolge in der Ontogenie des rezenten Hirsches spiegelt den stammesgeschichtlichen Entwicklungsgang der Cerviden vom Obermiozän bis zum Pliozän wider (Fig. 2a—e).

Die Besonderheit der ontogenetischen Geweih-Entwicklung besteht darin, daß sie nicht stetig und geradlinig durch fortschreitende Ausgestaltung eines ursprünglichen Ausgangsstadiums zum Endzustande führt. Sie verläuft vielmehr zyklisch: Die von einem jeden Zyklus erreichte Differenzierungshöhe wird durch Abwurf des Geweihes zunächst wieder rückgängig gemacht und

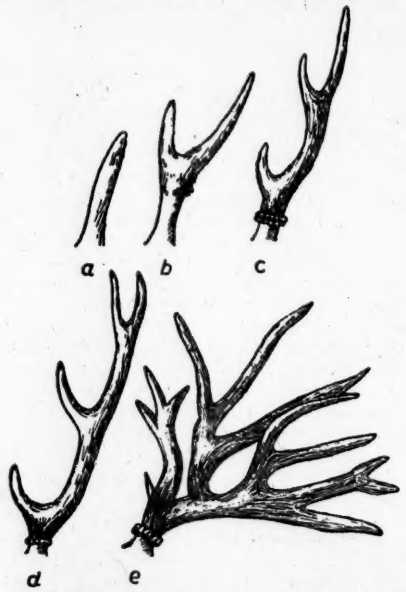


Fig. 2. Phylogenetische Entwicklung des Geweihs der Cerviden: a) und b) Dicrocerus, Miozän; c) Cervus (Axis), Pliozän; d) Cervus (Elaphus), Pliozän; e) Cervus (Polycladus), Pliozän. (Nach R. HESSE.)

auf ein morphologisch dem Urzustande entsprechendes geweihloses Stadium zurückgeschraubt, von dem aus dann jeweils die Entwicklung aufs neue einsetzt. Die Endstufen der einzelnen Zyklen stehen dabei dem Reifestadium näher als die zwischengeschalteten Abbaustadien und die einzelnen Stufen des Wiederaufbaus; den Erwachsenen ähnliche Zustände werden von weniger ähnlichen abgelöst. Darin ist das bezeichnende Kriterium der Apogenese zu erblicken, die also sowohl ein- wie mehrzyklisch verlaufen kann.

Ein ähnlich liegender Fall mehrzyklischer Umwegsentwicklung wurde von HERTA SCHMIDT bei der Gehäuse-Entfaltung fossiler Brachiopoden nachgewiesen. Es gibt da Formen, deren jugendliche Gehäuse sich durch flache Gestalt und scharfkantige Ränder wesentlich von den Reifestadien unterscheiden, die wesentlich dicker sind und abgestutzte Stirn- und Seitenränder besitzen (Fig. 3). Bei ihnen tritt also während der onto-

genetischen Entwicklung ein Wechsel in der Wachstumsrichtung ein: in der Jugend zunächst vorwiegendes Längen- und Breitenwachstum, dann im Altersstadium starke Dickenzunahme durch Umbiegung bzw. scharfe Abknickung der Klappen an den Rändern.

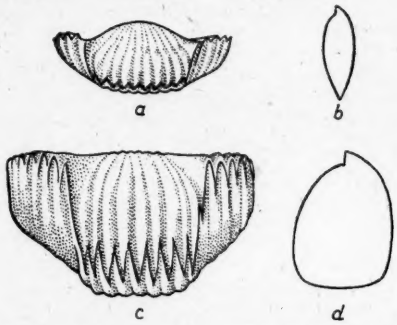


Fig. 3. Brachiopod (Camarotoechia, Mitteldevon) mit direkter, geradliniger Entwicklung vom Flach- zum Hochtypus: a) Stirnansicht, b) medianer Längsschnitt eines jugendlichen Gehäuses mit scharfen Stirn- und Seitenrändern; c) Stirnansicht; d) medianer Längsschnitt des Reifestadiums mit hohem, abgestutztem Stirnrand. (Nach H. SCHMIDT.)

Gewisse hochdifferenzierte Brachiopoden nun zeigen *mehrfach* im Verlaufe der ontogenetischen Entwicklung einen derartigen durchgreifenden Gestaltwandel. Schon in frühjugendlichen Stadien werden da Hochformen mit Abstutzung der Stirn- und Seitenränder herausgebildet, die auf geringer Größentsufe dem Altersstadium vollkommen entsprechen. Zur Ermöglichung eines weiteren Längen- und Breitenwachstums mußten alsdann die abgeknickten Schalenränder wieder abgebaut werden: es erscheinen wiederum Flachformen mit scharfen Rändern, die nach einer gewissen Zeit sich abermals zu Hochformen entwickeln, usf. (Fig. 4). Ähnlich der zuvor be-

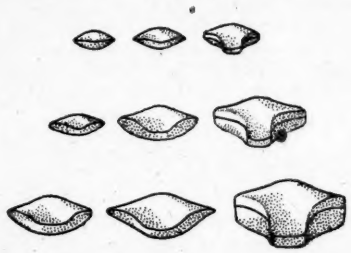


Fig. 4. Brachiopod (Uncinulus subcordiformis [Schnur], Mitteldevon) mit zyklisch-apogenetischer Entwicklung. Schon in frühen Jugendstadien wird ein hoher, abgeknickter Stirnrand herausgebildet und alsdann wieder resorbiert. Es beginnt ein neuer Zyklus, der von einer Flach- zur Hochform führt, ein Vorgang, der sich bei unserer Form dreimal wiederholt. (Nach H. SCHMIDT.)

sprochenen Geweih-Entwicklung der Hirsche wiederholen sich also mehrfach, auf verschiedenen Wachstumsstufen rückläufige Gestaltungsvorgänge (die übrigens nicht allein das äußere Gehäuse, sondern teilweise auch das kalkige Armgerüst betreffen) und kehren dementsprechend Formzustände wieder, die dem des Reifestadiums unähnlicher sind als es bei den ihnen jeweils vorausgehenden der Fall ist.

Verglichen mit den ursprünglichen Ahnformen, die zunächst zeitlebens flache Gehäuse besaßen und später im Alter in einzyklischer, direkter Entwicklung Hochformen hervorbrachten, zeigen diese Brachiopoden mit zyklisch-apogenetischer Entfaltung eine mehrfache Rekapitulation der phylogenetischen Vorzustände. Eine jede Aufbauphase veranschaulicht uns da, jeweils auf etwas größerer Wachstumsstufe, den einstigen stammesgeschichtlichen Werdegang vom scharfrandigen Flach- zum dicken Hochtypus. Im Hinblick auf ihre unmittelbaren Vorgänger aber, die ebenfalls bereits einen mehrzyklischen Entwicklungsgang zeigen, rekapituliert die Ontogenese in ihrer Gesamtheit die jener Formen. Zweifellos hat nun aber bei den stammesgeschichtlich jüngeren Vertretern die Zahl der Entfaltungszyklen zugenommen. Durch die übliche Entwicklungsbeschleunigung ist die Herausgestaltung einer den Altersstadien ähnlichen Form mit hohem, abgeknicktem Stirnrande in immer frühere Jugendstadien vorverlegt worden, wodurch eine Vermehrung der Umwegszyklen notwendig wurde. Wenn also bei dem eigentlichen palingenetischen Modus lediglich ein *Einzelstadium* addiert wird, so tritt hier die Angliederung gleich eines ganzen apogenetischen *Zyklus* ein.

IV.

Unter der Bezeichnung *Hysterogenese* scheiden wir im Rahmen der heterogenetischen Entfaltungsmodi mit ahnenunähnlichen Jugendstadien einen Sonderfall aus, bei dem die Frühstadien Neubildungen zeigen, also ebenfalls von den entsprechenden Ahnenzuständen abweichen, bei dem diese Neubildungen jedoch nicht von

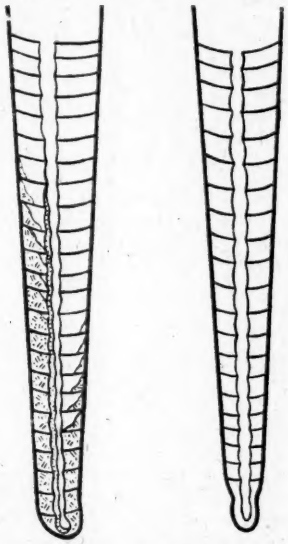


Fig. 5 und 6. Gegenüberstellung zweier dorsoventraler Längsschnitte eines Pseudorthoceren (5) und eines Orthoceren (6). Die Herausgestaltung der für die Pseudorthoceren bezeichnenden intrakameralen und endosiphonalen Kalkausscheidungen folgt dem hysterogenetischen Entwicklungsmodus.

Anfang an angelegt, sondern erst nachträglich, sekundär während des späteren Verlaufes der Ontogenese herausgestaltet werden. Dieser verhältnismäßig seltene Fall ist nur dann gegeben, wenn 1. die Ausbildung eines äußeren Gehäuses oder Panzers erfolgt, in dem die Jugendstadien gesondert überliefert werden, wo also nicht, wie beim Innenskelett oder bei den Organen des Weichkörpers, die Frühstadien durch Wachstum und Umbildung allmählich in die Endzustände übergeführt und in sie aufgenommen werden. 2. ist als Voraussetzung notwendig, daß der lebende Organismus dauernd mit den frühesten Gehäuseteilen in Verbindung bleibt und sie durch Stoffzufuhr weiterhin umwandeln kann.

Diese Vorbedingungen sind u. a. bei den Gehäusebildungen der Cephalopoden und der Echinodermen erfüllt. In den Pseudorthoceren, paläozoischen Vertretern der Nautiloideen, die wir als Beispiel herausgreifen, liegen uns Formen vor, für die eine starke Ent-

wicklung von lamellär struierten organischen Kalkausscheidungen in den Luftkammern und an der Ventralseite des Siphos bezeichnend ist (Fig. 5). Die Anfangskammer und die ersten Luftkammern des Gehäuses sind gewöhnlich vollkommen, ringsum von derartigen stereoplasmatischen Kalkablagerungen erfüllt, die dann mit der Annäherung an die Gehäusemündung, zunächst an der Dorsalseite, danach auch an der Ventralseite, allmählich an Umfang abnehmen. Die letzten Luftkammern vor der endgültigen Wohnkammer bleiben völlig frei von Kalkbekleidungen; das gleiche gilt für den Sipho.

Vom Standpunkt des B. G., also unter der Voraussetzung einer Rekapitulation der Ahnenmerkmale durch die Jugendstadien, würde man aus diesem Verhalten auf Vorfahren mit völlig verkalktem Gehäuse folgern, von denen aus die Pseudorthoceren eine Entwicklung in Richtung auf einen Abbau der Gehäuseverkalkung eingeschlagen hätten. Das Gegenteil davon ist richtig. Die Pseudorthoceren leiten sich vom Stamme der Orthoceren ohne Kalkausscheidungen, mit offenem Sipho und hohlen, gaserfüllten Kammern ab (Fig. 6).

Jener Ahnenzustand wird nun auch tatsächlich zunächst von den Jugendgehäusen der Pseudorthoceren wiederholt; denn diese besitzen nicht von vornherein die massigen Kalkausscheidungen, wie sich aus gelegentlichen Funden von Gehäusespitzen von Individuen ergibt, die bereits in früher Jugend verendet waren. (Das ist im übrigen auch als selbstverständlich vorauszusetzen, da das Anfangsgehäuse dem Tiere nicht als Aufenthaltsraum dienen konnte, wenn es vollkommen mit Kalkmassen verfüllt war.) Die Kalkablagerungen können also erst *nach* dem Stadium, in dem die betreffenden Gehäuseabschnitte bewohnt waren, und wegen ihrer bestimmten Lagebeziehungen zu den Septen ferner auch erst nach deren Herausgestaltung gebildet sein.

Die Stärke der eintretenden Kalkausscheidung stellt eine Funktion des erreichten Lebensalters dar: Je länger das Individuum gelebt hat, um so kräftiger ist die Verkalkung entwickelt und um so länger ist der an die Anfangskammer anschließende Gehäuseabschnitt, der von ihr betroffen ist. Dabei besteht das paradoxe Verhalten, daß der Anfangsteil des Gehäuses das fortgeschrittenste ontogenetische Verhalten, der Endabschnitt aber die jugendlichste und unreifste Entwicklungsstufe hinsichtlich der für die Pseudorthoceren bezeichnenden Verkalkung verkörpert. Die Ontogenese und ihre Rekapitulation der Stammesgeschichte ist also hier im Sinne HAECKELSs „gefälscht"; die Initialstadien sind ahnenunähnlich und dürfen nicht unbesehen als phylogenetische Zeugen bewertet werden. Das bildet für uns den Grund, die Hysterogenese unter den heterogenetischen Entwicklungsmodus einzureihen, obwohl die morphologischen Neubildungen der Jugendstadien nicht synchron, sondern erst nachträglich entstanden sind.

V.

Als Schlußfolgerung aus dem bisher Gesagten ergibt sich, daß die Beziehungen zwischen der Ontogenie und der Phylogenie wesentlich reicher und mannigfaltiger sind, als sie im B. G. berücksichtigt und ausgedrückt erscheinen. Es umschreibt, wie V. FRANZ bereits klar ausgesprochen hat, lediglich *einen*, wenn auch den verbreitetsten Modus unter einer ganzen Reihe verschiedener Verhaltungsweisen. Da ein Naturgesetz aber eindeutige, ausnahmslos geltende Zusammenhänge verzeichnet, so ist die These HAECKELs weder ein Gesetz oder gar ein Grundgesetz, noch sagt sie etwas über die „Biogenie", die Entstehung und den allgemeinen Werdegang des Lebens, aus, noch hat sie überhaupt irgendwelche kausal zu erklärenden Funktionen. Sie konstatiert lediglich einen bzw. zwei Spezialfälle aus dem ganz allgemeinen Tatbestande, daß zwischen der Ontogenie und der Phylogenie oder zwischen der betrachteten Einzelontogenese und der ihr vorausgehenden Kette von Ontogenesen morphologische Beziehungen bestehen.

Die äußere Formulierung des B. G. erscheint infolgedessen völlig verfehlt, wobei wir jedoch dankbar anerkennen wollen, daß die suggestive Formel HAECKELs die morphologische, entwicklungs- und stammesgeschichtliche Forschung mächtig angeregt und ihr starke neue Impulse gegeben hat. Sie hat damit ihre Schuldigkeit getan, und es gilt jetzt, nüchtern die Grenzen der ontogenetischen Aussagen abzustecken und von der Entwicklungsgeschichte nicht mehr zu erwarten, als was sie wirklich zu leisten vermag.

Es steht fest, daß die praktische Auswertung der Ontogenie durch zahlreiche Fehlerquellen erschwert wird; nach C. GEGENBAURs Worten droht stets die Gefahr, auf Grund der Entwicklungsgeschichte „fiktive Organismen" zu konstruieren, soweit keine Kontrollmöglichkeit der erlangten Vorstellungen am paläontologischen Material besteht. Zunächst ist in jedem Falle festzustellen, welchem bestimmten Entfaltungsmodus die Ontogenese folgt, was aus ihr allein nicht ohne weiteres entschieden werden kann. Sodann sind alle caenogenetischen Merkmalsbildungen auszuscheiden, deren einwandfreie Erkennung weitere Schwierigkeiten bereitet. Endlich ist zu bedenken, daß Heterochronien, Acceleration und Retardation, Überspringen und Elimination von Stadien, allometrisches Wachstum, Heterotopien sowie die im B. G. nicht berücksichtigten Fälle von Epistase, Neotenie und Fetalisierung eine große Rolle spielen und uns hindern, ein jedes ontogenetische Stadium gewissermaßen als bare Münze zu nehmen und in ihm ein phylogenetisches Abbild zu sehen.

Das Einzige, was die Ontogenese (und ebenso die Astogenese, die individuelle Entwicklung der Kolonie bei stockbildenden Formen) einwandfrei wiedergibt, das sind *Organogenesen:* die Entwicklungsabläufe einzelner Organe und Merkmale. Wenigstens soweit die vorausgehenden Stadien als Bildungsgrundlage der nächstfolgenden notwendig sind, dürfen wir damit rechnen, die einzelnen stammesgeschichtlichen Differenzierungsstufen getreu und vollständig in ihrer einstigen Reihenfolge wiedergegeben zu finden. Wir können damit der Organogenese sowohl positiv entnehmen, welchen Weg die stammesgeschichtliche Entwicklung der betreffenden Merkmale gegangen ist, wie wir negativ andere, an sich mögliche und bei sonstigen Formen verwirklichte Bildungsgänge ausschließen können. Und das ist für die Aufhellung der Phylogenie bereits eine gewaltige Hilfe.

In welcher Weise jedoch die einzelnen Entwicklungsstufen der verschiedenen Organogenesen, die als paralleles und oft nur in lockeren Korrelationen stehendes Bündel die Gesamtontogenese zusammensetzen, jeweils zu den Ahnenorganisationen zusammengefügt waren, das läßt sich angesichts der bedeutenden Auswirkungen zeitlicher und örtlicher Verschiebungen der Organ-Entfaltung mit Hilfe der Entwicklungsgeschichte allein kaum einwandfrei ermitteln. Nur der Nachweis entsprechender fossiler Funde vermag Aufschluß darüber zu geben, wie die einzelnen stammesgeschichtlichen Entwicklungsstufen wirklich ausgesehen haben, wobei das Studium der Ontogenie die Richtung anzeigt, in der die Stammformen und Vorfahren zu suchen sind.

Auch für die Feststellung des jeweils eingeschlagenen Modus der ontogenetischen Entfaltung ist eine gewisse Kenntnis der realen Stammesentwicklung notwendig, d. h. wir müssen über wirkliche fossile Urkunden verfügen, deren zeitliche Folge bekannt ist. Die mehr oder weniger große Unvollständigkeit der fossilen Überlieferung ist dabei ohne Belang. Schon einige wenige Funde im natürlichen historischen Verbande genügen als Belegstücke, um den obwaltenden Modus zu erkennen und dann mit Hilfe der ontogenetischen Hin-

weise die Natur der Ahnen und den Verlauf der Stammesentwicklung zu enträtseln. Die Entwicklungsgeschichte liefert dabei lediglich ein *regulatives Prinzip*, das Fingerzeige gibt und unsern Blick in bestimmte Bahnen lenkt, aber nicht selbst und allein zu endgültigen Ergebnissen führen kann.

Eine eingehende Darstellung der hier wiedergegebenen Gedankengänge hat der Verfasser in einem bereits seit längerer Zeit abgeschlossenen Buche „Ontogenie und Phylogenie, das ‚Biogenetische Grundgesetz' im Lichte der Paläontologie" gegeben, das, sobald die Zeitverhältnisse es gestatten, im Verlage Gebr. BORNTRAEGER erscheinen soll. Darin ist ausgiebig die bestehende weitschichtige Literatur berücksichtigt, von deren Zitierung hier aus Raumgründen abgesehen wird.

Kurze Originalmitteilungen.

Zur Systematik der Bindungsenergien der Atomkerne.

Solange eine quantitative theoretische Berechnung der Kernenergien nicht möglich ist, — sowohl weil die Kernkräfte noch unzureichend bekannt sind, als auch wegen mathematischer Schwierigkeiten, — erscheint es noch angemessen, unter halbempirischen Gesichtspunkten in den gemessenen Kernmassen nach allgemeinen Gesetzmäßigkeiten zu suchen. Unter diesem Aspekt sind eine Reihe graphischer Darstellungen und Interpolationsmethoden in der Literatur eingeführt worden. Die im Folgenden mitgeteilten Überlegungen stellen einen weiteren Versuch in dieser Richtung dar.

§ 1. *Leichtere Kerne.* Eine Darstellung, die einen Einblick in möglichst viele Details zu geben scheint, hat J. H. D. JENSEN in einem zusammenfassenden Bericht[1]) versucht; sie basiert im wesentlichen auf einer Ordnung der Bindungsenergien gegen Protonen, Neutronen und α-Teilchen. Da seither die Kernmassen besser und zahlreicher bekannt sind, schien es zweckmäßig, die Fig. 1 in (1) zu revidieren und zu erweitern. Es

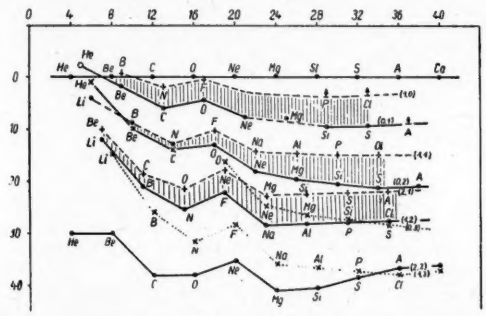


Fig. 1. Abszisse: Massenzahl; Ordinate: Bindungsenergie der Überschußnucleonen an Kerne mit α-Konfiguration, vgl. Text. ● stabile Kerne; $\times\ \beta^-$ —labil; $+\ \beta^+$ labil; ↑ untere Grenze der Bindungsenergie.

zeigt sich, daß mit den neuen Massen die Verläufe wesentlich glatter werden und die in 1.c. erörterten Gesetzmäßigkeiten sich deutlicher herausheben. Zugrundegelegt wurden die von MATTAUCH und FLUGGE in ihrem letzten Isotopenbericht[2]) angegebenen Kernmassen, mit einigen sehr wesentlichen Änderungen nach Messungen von MEIER-LEIBNITZ[3]):

Masse von O^{19} um 5,4 TME[4]), von Na^{22} um 1,4 TME, von Si^{28} um 0,8 TME, von Cl^{34} um 2,8 TME größer als bei MATTAUCH-FLUGGE.

Die Zusammenhänge werden noch augenfälliger, wenn man wie in Fig. 1 in 1. c. statt der Bindungsenergien gegen Protonen, Neutronen und α-Teilchen einfach die Bindungsenergien von 1 bis 4 Nucleonen an die voraufgehende reine α-Teilchenkonfiguration He^4, Be^8, C^{12}, O^{16} usw. aufträgt. Den Überschuß von p-Protonen und n-Neutonen über eine solche Konfiguration haben wir mit (p, n) bezeichnet. „Homologe Kerne", d. h. solche mit gleichem (p, n), haben wir durch Linienzüge verbunden und diesen das betreffende (p, n)-Symbol beigeschrieben. Die Bindungsenergien haben wir in TME[4]) nach unten aufgetragen, Abszisse ist die Massenzahl A. Durch diese Darstellung haben wir natürlich von vornherein eine Viererperiodizität hervorgehoben, daß diese aber berechtigt ist, zeigt der ähnliche Gang der verschiedenen Homologen-Kurven; insbesondere möchten wir betonen, daß die verschiedenen Bindungsenergien der α-Teilchen, — unterste = (2,2)-Kurve —, sich bereits in dem Gang der Bindungsenergien der einzelnen Nucleonen widerspiegeln, die sich schließlich zum neuen α-Teilchen kombinieren.

In Ergänzung zu der in 1. c. gegebenen Diskussion der Figur seien folgende Einzelheiten hervorgehoben:

1. Die Kurve (0,1) würde bei Mg^{25} einen Knick zeigen, der sich in den anderen Kurvenzügen nicht wiederfindet. Wir möchten deshalb vorschlagen, die Masse von Mg^{25} etwa um ca. 1 TME tiefer zu legen; man müßte dann annehmen, daß die Reaktion Al^{27} (d, α) Mg^{25}, aus der die Masse berechnet wurde, zu einem angeregten Zustand des Mg^{25} führt. Dementsprechend haben wir die (0,1)-Kurve unter dem MATTAUCH-FLUGGEschen Wert vorbeigeführt.

2. Die zunehmende Bevorzugung größerer Neutronenzahl gegenüber der Protonenzahl infolge der Coulombschen Wechselwirkung erhellt deutlich aus der Divergenz der durch Schraffur verbundenen Kurvenpaare gleicher Nucleonenzahl. Augenfällig ist dabei, daß die (1,1)- und (0,2)-Kurven enger beisammenliegen als die beiden anderen Paare, ein Umstand, den BARKAS[5]) betont und gedeutet hat. Es macht sich hier die Spinabhängigkeit der Kernkräfte geltend: In den (0,2)-Kernen haben die beiden Neutronen entgegengesetzten Spin, und zwei solche Teilchen üben aufeinander geringere Kräfte aus, so daß bei Abwesenheit bindender α-Teilchen sie keinen aneinander gebundenen Zustand eingehen können — (so wie es auch keinen stabilen Singulettzustand des Deutons gibt) —; im Neutron-Protonpaar dagegen können die Spins parallel sein, so daß die Bindung dieser Nucleonen aneinander zu der Bindung an den α-Teilchenrumpf hinzukommt. Es gibt also bei diesen Kernen sozusagen noch eine Bevorzugung der Deuton-Konfiguration, die bei der Masse 6 sogar dazu führt, daß trotz der elektrostatischen Benachteiligung Li^6 und nicht He^6 der wesentlich stabilere Kern ist. Bei zunehmender Teilchenzahl, wo die „Überschußnucleonen" über einen größeren Raum „verteilt" sind, und ihre Wechselwirkung miteinander demgemäß einen immer kleineren Beitrag liefert, verschwindet dieser Effekt offensichtlich.

Die Divergenz der Kurven für ein bzw. drei Überschußnucleonen erscheint uns bei den Massenzahlen über 28 eher zu gering, wir möchten deshalb vermuten, daß die Massen von P^{29}, S^{31} und vor allem von Cl^{33} und A^{35} etwas höher liegen, d. h. daß die $\beta+$-Umwandlungen, aus denen die Massen berechnet wurden, zu angeregten Zuständen der Folgekerne führen.

3. Der allgemeine Gang (schwaches Wiederansteigen) der ausgezogenen Kurven deutet darauf hin, daß der Kern Ca^{40}, ähnlich wie O^{16} eine Sonderstellung einnehmen könnte, wenn auch in weniger stark ausgeprägter Weise. Am zwanglosesten liefert hierfür das sog. Schalenmodell eine Deutung, vgl. 1. c. § 1 und § 5.

4. Aus diesem Gang fällt der Kurvenzug (0,2) heraus, der einen stetigeren Abfall zeigt; hier deutet sich schon bei kleineren Massenzahlen der Umstand an, daß die bevorzugte Rolle der Kerne mit reiner α-Konfiguration jenseits der Massenzahl 40 abgelöst wird durch die Kerne mit 2 und 4 Überschußneutronen. Den gleichen Gang zeigen die Homologenreihen (0,3) bzw. (1,3), die anfangs gegenüber (1,2) bzw. (2,2) wesentlich benachteiligt sind, gegen A = 40 aber die letzteren überholen. Das Unterschreiten von (2,2) durch (1,3) hatten wir in 1. c. als „Sprengung der α-Konfiguration durch die Cou-

lombkraft" bezeichnet, womit jedoch nicht gesagt sein soll, daß hier schon die Grenze des α-Teilchen-Modells läge[6]). Dort wurde auch die Verletzung der HARKINSschen Regel durch dieses Phänomen erörtert. Leider sind die Massen immer noch nicht genau genug bekannt, um diese Überschneidungen und das Auftreten des neuen Typus (0,4) im Detail zu verfolgen.

§ 2. *Mittelschwere Kerne.* Über die Massenzahl 40 hinaus läßt sich die Darstellung der Fig. 1 nicht fortsetzen, da hier die Bezugskerne mit reiner α-Konfiguration nicht mehr bekannt sind. Man muß hier direkt die Bindungsenergien gegen Protonen, Neutronen und α-Teilchen auftragen (Fig. 2). Auch sind hier die be-

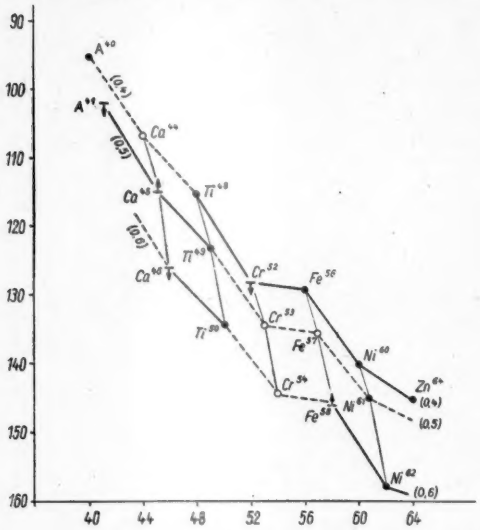


Fig. 2. Abszisse: Massenzahl; Ordinate: Bindungsenergie gegen Protonen, Neutronen und α-Teilchen. ● Massenbestimmung durch massenspektroskopische Dubletts, ⊥ bzw. ⊤ aus Kernreaktionen bestimmt, untere bzw. obere Grenzen der Bindungsenergie; O interpolierte Werte.

rechenbaren Massenwerte spärlicher, so daß noch kein so vollständiges System wie das der Fig. 1 zu gewinnen ist. Immerhin lassen sich noch einige aufschlußreiche Überlegungen anstellen.

Betrachten wir zunächst den Kurvenzug der Kerne mit 4 Überschußneutronen (0,4), so springt der scharfe Knick beim Fe^{56} in die Augen, der die bekannte Tatsache hervorhebt, daß der Packungsanteil des Eisens verglichen mit dem seiner Nachbarn geringer ist. Zu den Daten ist folgendes zu bemerken: Ni^{60}, Fe^{56} und Ti^{48} sind direkt durch massenspektroskopische Dublettmessungen gewonnen; Cr^{52} ist an Ti^{48} durch die Reaktionskette:

$$Ti^{48}\ (\alpha,p)\ V^{51}\ (d,p)\ V^{52}\ (\beta^-)\ Cr^{52}$$

angeschlossen, die Diskussion der möglichen Fehlerquellen (angeregte Folgekerne) ergibt, daß Cr^{52} allenfalls tiefer, nicht höher liegen könnte. Aus den MATTAUCH-FLUGGEschen Massen folgt dann, daß Fe^{56} höchstens mit 0,7 MeV gegen α Zerfall in Cr^{52} stabil wäre.

Das Ergebnis ist so befremdend, daß man das Bedürfnis hat, es durch andere Daten zu stützen. Eine solche Möglichkeit bietet nun die Betrachtung der anderen Homologenreihen (0,5) und (0,6). In der letzteren findet man den steilen Abfall Fe^{56}—Ni^{60} wieder im Gang Fe^{58}—Ni^{62}, deren Daten unabhängig zu gewinnen sind: Ni^{62} und Ni^{58} sind nämlich unmittelbar aus Dublettmessungen zu bestimmen; für Fe^{58} läßt sich dann aus Ni^{58} durch folgende Überlegungen eine untere Grenze berechnen: Da beim Co^{58} nur β^+-Aktivität, dagegen keine β^--Umwandlung beobachtet wird, andererseits Ni^{58} ein stabiler Kern ist, können die Atomgewichte von Co^{58} und Ni^{58} höchstens um wenige hundert Kilovolt verschieden sein; aus dem Positronenspektrum des Co^{58} und der begleitenden γ-Strahlung ist dann zu schließen, daß das Atomgewicht von Fe^{58} höchstens um 4 TME unter dem von Ni^{58} liegen kann. Nach der Lage von Ca^{46} und Ti^{50} läßt sich nunmehr die Kurve der (0,6)-Kerne kaum anders ergänzen (gestrichelter Linienzug) als in Fig. 2. Entsprechendes gilt für die (0,5)-Reihe, von denen Ni^{61} und Ti^{49} aus Dubletts bekannt, und Ca^{45} bzw. A^{41} durch die Kernreaktionen

$$Ca^{45}\ (\beta-)\ Sc^{45}\ (\alpha,p)\ Ti^{48} \text{ bezw. } A^{40}\ (d,p)\ A^{41}$$

an Dublettkerne angeschlossen sind. Es ist also keine allzu große Willkür, wenn man die Kurvenzüge in der angegebenen Weise interpoliert. Die Bindungsenergien der interpolierten Kerne (offene Kreise) sind natürlich leicht um 2 TME unsicher[7]).

Dieses Herausfallen des Eisens, das uns zusätzlich zur direkten Massenbestimmung durch die obigen Überlegungen gesichert erscheint, bildet eine sehr ernsthafte Schwierigkeit für das WEFELMEIERsche Modell[8]), welches gerade die Konfiguration von 13 α-Teilchen als energetisch begünstigt ansieht. Eine entsprechende Schwierigkeit besteht auch für jeden Erklärungsversuch der Elementen- und Isotopen-Häufigkeitsverteilung aus einem thermischen Gleichgewicht[9]), denn bei der geringen Bindungsenergie des Eisens ist seine geo- und kosmo-chemische Häufigkeit, verglichen mit der seiner Nachbarelemente, im thermischen Gleichgewicht schwerlich zu verstehen.

Institut für theoret. Physik der Techn. Hochschule Hannover.

J. HANS D. JENSEN und HELMUT STEINWEDEL.

Eingegangen am 9. Dezember 1946.

1) H. JENSEN, Naturwiss. 27, 841 (1939), im Folgenden als 1. c. zitiert.
2) Phys. Zs. 44, 181 (1943).
3) Herrn MEIER-LEIBNITZ danken wir herzlich für die Mitteilung seiner Ergebnisse vor ihrer Publikation und für einen interessanten Briefwechsel über den hier behandelten Gegenstand.
4) 1 TME = 1 tausendstel Masseneinheit = 0,931 MeV.
5) Phys. Rev. 55, 691 (1939).
6) Vgl. 1. c., Fußnote 2 auf Seite 843.
7) Die interpolierten Atomgewichte sind: Ca^{44} = 43,968; Cr^{53} = 52,956; Cr^{54} = 53,956; Fe^{57} = 56,959.
8) Naturwiss. 25, 525 (1937); Zs. f. Phys. 107, 332 (1937).
9) Vgl. JENSEN u. SUESS, Natuwiss. 32, 374 (1944).

Relativistische Gravitationstheorie mit variabler Gravitationskonstante.

Bekanntlich hat DIRAC den Gedanken ausgeführt, daß die Gravitationskonstante $K = 8\pi l/c^2$ in Wahrheit nicht konstant, sondern langsamer Veränderung in der kosmologischen Entwicklung unterworfen sei. Nimmt man diesen Gedanken ernst, so ergibt sich die Aufgabe, die EINSTEINsche allgemeine Relativitätstheorie so zu verallgemeinern, daß K nicht mehr als Konstante, sondern als zusätzliche (skalare) Feldgröße behandelt wird. Diese Aufgabe habe ich in Angriff genommen in einer 1944 ausgeführten Untersuchung[1]). Als geeignete Grundlage wurde die von KALUZA begründete, von VEBLEN und vielen anderen Verfassern weiter bearbeitete *fünfdimensionale* oder *projektive* Relativitätstheorie erkannt.

In der bisherigen Theorie des Vakuum-Feldes haben wir 14 Feldgrößen, nämlich 10 Gravitationspotentiale g_{kl} und 4 elektromagnetische Potentiale Φ_k. Wir suchen also jetzt eine Theorie mit 15 statt 14 Feldgrößen, und die projektive Relativitätstheorie liefert von selbst 15 Feldgrößen, nämlich 15 Komponenten einer Metrik $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$ mit $\mu, \nu = 1, 2 \ldots, 5$. Man konnte sie deshalb nur dadurch für die bisherige Theorie K = const verwenden, daß man in künstlicher, unnatürlicher Weise die Konstanz einer aus den $g_{\mu\nu}$ und den projektiven Koordinaten X^μ gebildeten skalaren Größe $J = g_{\mu\nu} X^\mu X^\nu$ als Nebenbedingung unabhängig von den Feldgleichungen einführte. Läßt man diese Zusatzforderung fallen, so bekommt man von selbst eine Theorie mit *variablem* $K = {}^1/_2 Jc^2$.

Inzwischen sind diese Untersuchungen weiter verfolgt worden. Gemeinsam mit CL. MÜLLER wurden die neuen Feldgleichungen diskutiert und auf kosmologische Modelle angewandt[2]). Es ergeben sich Stützen für die von

mir aus ganz andersartigen Gesichtspunkten entwickelten kosmologischen Vorstellungen [3]). Ferner ist die Mathematik der durch $J \neq \text{const}$ erweiterten projektiven Relativitätstheorie weiter untersucht worden. Die ursprünglichen Beweise der Hauptformeln beruhten auf einer Verallgemeinerung der bei PAULI [4]) für den Spezialfall $J = \text{const}$ vorgetragenen; sie waren teilweise sehr kompliziert und schwerfällig. Sehr vereinfachte Beweise sind von G. LUDWIG gefunden worden, der damit den von PAULI für $J = \text{const}$ entwickelten Zusammenhang des fünfdimensionalen und des vierdimensionalen Krümmungstensors vollständig auf $J \neq \text{const}$ erweitern konnte. (Meine eigene Untersuchung hatte sich auf den *verjüngten* Krümmungstensor beschränkt.) Eine andersartige überraschend einfache Beweisführung habe ich soeben gefunden.

Teilstücke dieser Untersuchungen können hoffentlich demnächst veröffentlicht werden [5]). Eine zusammenhängende Gesamtdarstellung in Buchform ist in Vorbereitung. Dabei wird auch auf das Verhältnis dieser Theorie zu der von SCHRÖDINGER in den letzten Jahren ausgeführten affinen Feldtheorie eingegangen.

Göttingen. P. JORDAN.

Eingegangen am 15. November 1946.

[1]) Gravitationstheorie mit veränderlicher Gravitationszahl. Physik. Zeitschr. 1945. (Korrekturfahnen.)

[2]) Interessante Hinweise betreffs der Folgerungen aus den neuen Feldgleichungen verdanke ich ferner Herrn HECKMANN.

[3]) Physikal. Zeitschr. 45, 183 (1944).

[4]) W. PAULI, Ann. d. Phys. 18, 305, 337 (1933).

[5]) Eine gruppentheoretische Aufklärung über den Sinn der projektiven Relativitätstheorie erschien Göttinger Nachr. 1945, Seite 74.

Die Messung von β- und γ-Strahlen durch inneren Photoeffekt in Kristallphosphoren.

Es ist bei der Ausführung von Ionisationsmessungen an β- und γ-Strahlen notwendig, mit verhältnismäßig großen Zählkammern zu arbeiten, um eine gut meßbare Ausbeute an Ionen zu erhalten. So benutzt man z. B. bei der Messung von schwächeren β-Aktivitäten Kammern von einigen Litern Inhalt mit Luft oder Kohlensäure von mehreren Atmosphären Druck gefüllt, um die β-Strahlen möglichst vollständig in der Kammer zu absorbieren. Bei dem sogenannten Zweifadenapparat nach WULF und HESS, der aus einer dickwandigen zylindrischen Kammer mit eingebautem Zweifadensystem besteht, werden bei starken Präparaten von 100 mg Radium in 50 cm Abstand Sättigungsströme von $3{,}3 \cdot 10^{-8}$ Amp. für die γ-Strahlung erreicht.

Die überraschend großen Photoströme, die der eine von uns in synthetischen Einkristallen aus Cadmiumsulfid, Selenid oder Tellurid beobachtete und die sich über den weiten Wellenlängenbereich vom Sichtbaren bis in das Gebiet der Röntgenstrahlen erstrecken (näheres siehe in einem der folgenden Hefte der „Naturwissenschaften"), legen es nahe, diesen Bereich bis zu den γ-Strahlen zu erweitern. Diese Stoffe kann man als „unvollständige" Kristallphosphore auffassen, bei denen zwar die elektrischen Eigenschaften gut ausgebildet sind, die optischen Eigenschaften, Momentanleuchten und Nachleuchten jedoch unentwickelt sind. Korpuskularstrahlen werden daher in gleicher Weise, wie sie die optischen und die damit verbundenen elektrischen Vorgänge der gewöhnlichen Phosphore anregen, auch bei diesen Kristallen die Leitfähigkeit erhöhen.

Wir haben zunächst einige Messungen mit β- und γ-Strahlen durchgeführt. Dabei sind wir, trotz Verwendung beschränkter Mittel zu sehr bemerkenswerten Ergebnissen gelangt, die, wie wir glauben, zu einer neuen und höchst leistungsfähigen Nachweis- und Meßmethode für diese Strahlen führen. Der photoleitende Cadmiumsulfidkristall von 10 mm Länge und 0,1 mm Dicke hatte als wirksame Fläche einen Zwischenraum von $10 \times 0{,}3\ \text{mm}^2$ zwischen zwei aufgedampften Aluminiumelektroden. Die Feldstärke betrug ungef. 600 Volt/cm. Frühere Messungen an derartigen Kristallen mit empfindlichen Anordnungen hatten ergeben, daß diese Kristalle im Dunkeln annähernd statisch wie Bernstein isolieren. Als β-Strahler diente ein Radiumpräparat von 10 mg, die Strahlung war jedoch durch zwischengeschaltete Glasschichten von ungefähr 1,5 mm geschwächt. Bei einem Abstand: Präparat—Zelle von 50 mm betrug der Strom unter den erwähnten Bedingungen $3{,}9 \cdot 10^{-8}$ Amp. Zur Messung der γ-Strahlung wurde das in einem Bleizylinder von 5 mm Wandstärke befindliche Glasrohr mit dem Präparat in einem Abstand von 20 mm zur Zelle gebracht. Der erreichte Photostrom betrug $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Amp.

Man wird vielleicht einwenden, daß diese Messungen bei sehr geringen Abständen durchgeführt wurden, jedoch ist bei der kleinen Photozelle der wirksame Strahlenkegel nur klein. So ist z. B. bei der oben erwähnten Zweifadenanordnung der räumliche Öffnungswinkel ca. $100\ \text{cm}^2/50\ \text{cm}$ etwa 6 mal größer als bei unserer Anordnung. Bei der benutzten Dicke von 0,1 mm ist die Ausnutzung der schwach absorbierten Strahlung natürlich sehr schlecht. Cadmiumsulfid tritt bei der Abscheidung aus der Dampfphase vorwiegend in flachen und geraden bandförmigen „Spießen" geringer Dicke auf. Es ist daher sicherlich zweckmäßig, die Strahlung einen derartigen Kristall in Richtung der größten Ausdehnung durchlaufen zu lassen. Dann wird diese Meßanordnung tatsächlich „strichförmig". Man kann natürlich eine größere Anzahl dieser Kristalle hintereinander anordnen und elektrisch parallel schalten. Schließlich kann man bei diesen Kristallen wegen des verschwindenden Dunkelstroms mit wesentlich empfindlicheren Galvanometern oder Elektrometern arbeiten.

Die Vorzüge dieser Meßanordnung für die Kernphysik liegen nicht nur in ihrer geringen räumlichen Ausdehnung. Da photoleitendes Cadmiumsulfid sich ebenfalls in ausgedehnten Schichten herstellen läßt, bietet sich hier ein Weg, Bildfängerröhren mit halbleitendem Dielektrikum für β- und γ-Strahlen herzustellen, mit denen die ausgedehnte Belichtungszeiten erfordernden technischen γ-Strahlendurchleuchtungen vereinfacht werden könnten. Bei der hervorragenden Isolation des unbestrahlten Kristalls wird man vielleicht die Ionisation in diesem Festkörper in Verbindung mit leistungsfähigen Verstärkeranordnungen zu einem „Elektronen"- oder „γ-Quantenzählkristall" verwenden können.

Über die genauere Untersuchung dieser Erscheinungen wird später die eine von uns (W) in ihrer Dissertation berichten.

Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie.

RUDOLPH FRERICHS und RUTH WARMINSKY.

Eingegangen am 27. November 1946.

Die Volumviskosität in Gasen als gaskinetische Transporterscheinung.

Die hydrodynamische Theorie zäher und inkompressibler Flüssigkeiten beschreibt den Spannungszustand in einem inhomogenen Strömungsfeld durch ein tensoriell verallgemeinertes NEWTONsches Reibungsgesetz, das nur eine einzige Materialkonstante, den Reibungskoeffizienten τ enthält. Diese Reibungskonstante η wird aus Versuchen ermittelt (Kapillare, Couette-Methode, Kugelfallmethode usw.), bei denen die Voraussetzung der Inkompressibilität auch im Falle von Gasen mit guter Annäherung erfüllt ist. Hier soll der Einfluß der Kompressibilität des Gases auf das Reibungsgesetz untersucht werden.

Es ist schon lange bekannt, daß die phänomenologische Mechanik deformierbarer Körper für eine isotrope Flüssigkeit oder ein Gas 2 Reibungskonstanten liefert. Bedeuten nämlich v_i $(i = 1, 2, 3)$ die Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit des Gases, T_{ik} die Komponenten des Spannungstensors, dann gelten bei Annahme linearer Beziehungen zwischen den Größen T_{ik} und den Komponenten $d_{ik} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \frac{\partial v_k}{\partial x_i}\right)$ des Deformationistensors folgende Gleichungen:

$$T_{ii} = p - \lambda \operatorname{div} v - 2\eta\, d_{ii}\,;\quad T_{ik} = -2\eta \cdot d_{ik}\ (i \neq k).$$

Die Größe η entspricht der normalen Scherungsreibung. Soweit die phänomenologische Theorie. Die kinetische Gastheorie lieferte nun zusätzlich die sog. MAXWELLsche Relation: $3\lambda + 2\eta = 0$. Dadurch ist λ auf η zurückgeführt. Diese Beziehung entspricht auch der Forde-

rung, daß die Summe der Normalspannungen $T_{11} + T_{22} + T_{33}$ gleich $3p$ wird. Es ist zweckmäßig, statt der Konstanten λ die Linearkombination $\lambda + {}^2/_3\eta$ zu benutzen. Diese werde mit μ bezeichnet und Volumviskosität genannt. Dann gilt:

$$T_{ii} = p - \mu \operatorname{div} \mathfrak{v} - 2\eta\,(d_{ii} - \tfrac{1}{3} \operatorname{div} \mathfrak{v}); \quad T_{ik} = -2\eta \cdot d_{ik} \quad (i \neq k).$$

Diesem Zusammenhang entspricht die Dissipationsfunktion:

$$F = \mu\,(d_{11} + d_{22} + d_{33})^2 + 2\eta \left\{ \tfrac{1}{3} \left[(d_{11} - d_{22})^2 + (d_{11} - d_{33})^2 + (d_{22} - d_{33})^2 \right] + 2\,d_{12}^2 + 2\,d_{13}^2 + 2\,d_{23}^2 \right\}$$

Im MAXWELLschen Gas ist $\mu = 0$. Unter Berufung auf diese Folgerung der kinetischen Gastheorie ist bisher meist der Schritt von der Zweikonstantentheorie zur Einkonstantentheorie vollzogen worden. Zuerst hat wohl BUSEMANN[1]) darauf hingewiesen, daß in mehratomigen Gasen die MAXWELLsche Relation nicht mehr gültig sein wird. Ferner hat ENSKOG gezeigt, daß in einatomigen Gasen hoher Dichte die Volumviskosität nicht mehr verschwindet. Um die Verhältnisse in mäßig verdünnten Gasen zu klären, habe ich eine gaskinetische Untersuchung durchgeführt, deren Publikation demnächst in der Zeitschrift für Physik erfolgt. Die MAXWELLsche Relation, die auch aus ENSKOGs und allen anderen vorhandenen Formen der kinetischen Gastheorie folgt, ist streng nur für einatomige Gase richtig, wo die Energie der Gasmoleküle ausschließlich aus Translationsenergie besteht. In mehratomigen Gasen führt die endliche Einstellzeit der Energie der inneren Freiheitsgrade zu zusätzlicher Dissipation, die sich unter gewissen einschränkenden Bedingungen durch eine Volumviskosität in den hydrodynamischen Grundgleichungen makroskopisch vollständig beschreiben läßt. Besondere Bedeutung hat der einfachste Fall, wo neben der Translationsbewegung nur Rotationsfreiheitsgrade angeregt sind. Hier besitzt man nämlich ein mit Methoden der klassischen Mechanik quantitativ auswertbares Molekülmodell, das der ideal rauhen Kugel. Beim Zusammenstoß zweier solcher Kugeln sollen auch Tangentialkräfte auftreten derart, daß die Relativgeschwindigkeit der Berührungspunkte der beiden Kugeln beim Zusammenstoß sich durch den Stoß umkehrt. Für das rauhe Kugelmodell ist die Reibung und Wärmeleitung nach den ENSKOG-CHAPMANschen Methoden von PIDDUCK[3]) berechnet worden. Mit denselben Methoden der angenäherten Bestimmung der Verteilungsfunktion der Moleküle läßt sich auch die Volumviskosität berechnen. Man erhält für das Verhältnis des Koeffizienten μ_{rot} der Volumreibung zum gewöhnlichen Reibungskoeffizienten η:

$$\frac{\mu_{rot}}{\eta} = \frac{1 + \frac{13}{6}\varkappa}{10\varkappa}.$$

Darin ist $\varkappa = 4 \cdot I/m\sigma^2$, wo σ der Durchmesser der Kugelmoleküle, I deren Trägheitsmoment und m deren Masse ist. Die Größe $\varkappa$ ist dimensionslos, und kann nur Werte zwischen 0 und 2/3 annehmen. Dabei entspricht $\varkappa = 0$ der vollständigen Konzentration der Molekülmasse im Mittelpunkt, und $\varkappa = 2/3$ der Konzentration der Molekülmasse auf der Kugeloberfläche. Aus dieser Formel folgt:

$$\frac{\mu_{rot}}{\eta} > 0{,}366.$$

Der durch die Rotationsbewegung der Moleküle bedingte Koeffizient μ_{rot} der Volumreibung tritt also als selbständige Transportgröße neben die bisher bekannten Transporterscheinungen in Gasen. Diese Transportgröße ist mindestens von derselben Größenordnung wie der gewöhnliche Reibungskoeffizient. Sie besitzt dieselbe Temperaturabhängigkeit, solange die Rotationsfreiheitsgrade voll angeregt und die Schwingungsfreiheitsgrade noch nicht angeregt sind.

Bei gewöhnlichen Reibungsversuchen entzieht sich μ_{rot} der Meßbarkeit. Die Existenz der Volumreibung macht sich aber bemerkbar in der Akustik und in der Gasdynamik. Quantitative Werte von μ_{rot} kann man z. B. aus Schallabsorptionsmessungen an ebenen Wellen in Gasen erhalten. Für solche Wellen ist die Schallabsorption pro cm durch die KIRCHHOFFsche Formel gegeben:

$$M = \frac{\omega^2}{2a^3} \left[\frac{4}{3} \cdot \frac{\eta}{\rho} + \frac{\mu_{rot}}{\rho} + \frac{\gamma - 1}{\gamma} \cdot \frac{\Lambda}{\rho \cdot c_v} \right].$$

Darin ist ω die Kreisfrequenz der Schallwelle, a die gewöhnliche Schallgeschwindigkeit, $\gamma = c_p/c_v$, Λ die Wärmeleitfähigkeit, ρ die Dichte. Für das rauhe Kugelmodell erhält man ($\gamma = 4/3$):

$$M = \frac{\omega^2}{2a^3} \cdot \frac{\eta}{\rho} \cdot \left[\frac{4}{3} + \frac{1 + \frac{13}{6} \cdot \varkappa}{10\varkappa} + \frac{1}{40} \cdot \frac{(6 + 13\varkappa)\,(37 + 151\varkappa + 50\varkappa^2)}{12 + 75\varkappa + 101\varkappa^2 + 102\varkappa^3} \right]$$

Daraus:

$$M/M_{\mu=0} > 1{,}20.$$

Der Beitrag der Volumreibung infolge Molekülrotation zur Schallabsorption beträgt also nach dem rauhen Kugelmodell mindestens 20% der Schallabsorption unter der Annahme verschwindender Volumreibung.

In der Tat haben fast alle Messungen der klassischen Schallabsorption in mehratomigen Gasen eine um 20 bis 60% höhere Schallabsorption ergeben als der Annahme $\mu_{rot} = 0$ entspräche[4]). Diese Meßergebnisse bestätigen damit die Existenz der durch die Rotation der Moleküle bedingten Volumreibung.

Historisch ist zu bemerken, daß der Einfluß der endlichen Einstellzeit der Rotationsenergie auf die Schallabsorption zum erstenmal von JEANS[5]) an Hand eines speziellen Modells für zweiatomige Gase untersucht wurde. Als Einfluß der verzögerten Einstellung findet er den eines um etwa 15% erhöhten Reibungskoeffizienten. Allerdings fehlt bei ihm die Deutung des Effekts durch eine Volumviskosität. In neuerer Zeit hat MEIXNER[6]) hervorgehoben, daß gewisse in Gasmischungen chemisch reagierender Gase mit anregbaren Komponenten auftretende Schallabsorptionsglieder formal einer Volumviskosität zugeschrieben werden können.

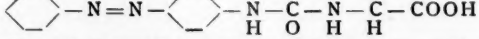
MAX KOHLER, Horb am Neckar.

Eingegangen am 30. September 1946.

1) A. BUSEMANN, Handb. d. Experimentalphysik, Wien-Harms, Bd. IV, 1. Teil „Gasdynamik", S. 358.
2) D. ENSKOG, Kungl. Svenska Vetenskap Akademiens Handl. 63, No. 4 (1921).
3) F. B. PIDDUCK, Proc. Roy. Soc. A, 101. S. 101 (1922). Siehe auch: S. CHAPMAN and T. G. COWLING: „The Mathematical Theory of Nonuniform Gases", Cambridge 1939, S. 199
4) N. SCHMIDTMÜLLER, Akust. Z. S. Bd. 3, S. 115 (1938) (N_2 und O_2); V. O. KNUDSEN und L. OBERT, Journ. Acoust. Soc. Am. Bd. 7, S. 249 (1936) (O_2); H. KELLER, Phys. Zeitschrift Bd. 41, S. 386 (1940) (N_2 und Ammoniak).
5) J. H. JEANS, "The Dynamical Theory of Gases", Cambridge 1904, S. 302.
6) J. MEIXNER, Annalen d. Phys., Bd. 43, S. 470 (1943).

Eine neue Methode zur quantitaven Analyse von Aminosäuregemischen.

Aus den Alkalisalzen der Aminosäuren werden durch Umsetzung mit p-(Benzolazo)-phenyl-isocyanat quantitativ gut kristallisierte Farbstoffe folgenden Typs erhalten:



Prolin und Oxyprolin reagieren analog mit der Aminogruppe. In den Oxyaminosäuren, auch im Tyrosin, reagieren die Oxygruppen nicht, im Histidin nur die Aminogruppe. Cystin liefert die Diureidoverbindung, aus Arginin, Lysin und Ornithin bilden sich nebeneinander Mono- und Diureidoverbindungen. Die Monoureidoverbindungen der Hexonbasen sind im Gegensatz zu den Farbstoffderivaten der übrigen Aminosäuren mit ausgeprägt saurem Charakter amphoter.

In geeigneten Systemen zweier miteinander nicht mischbarer Lösungsmittel (z. B. organisches Lösungsmittel/Pufferlösung mit Salzzusatz) ist eine systematische Auftrennung eines Gemisches der Aminosäurefarbstoffe in Gruppen und einzelne Farbstoffe möglich.

Dabei gelten:

1. Das Verteilungsgleichgewicht der undissoziierten Farbstoffsäuren zwischen organischem Lösungs-

mittel und wässeriger Phase, bestimmt durch den Verteilungsquotienten;

in der wässerigen Phase

2. das Dissoziationsgleichgewicht der undissoziierten Säure und ihrer Anionen, bestimmt durch die Dissoziationskonstante der Farbsäuren;
3. gegebenenfalls das Löslichkeitsprodukt aus den Konzentrationen der Säureanionen und der durch Salzzusatz eingeführten Kationen.

Die Verhältnisse sind variierbar durch die Wahl des organischen Lösungsmittels, das p_H, Art und Menge des Salzzusatzes in der wässerigen Phase. U. U. tritt praktisch völlige Ausfällung von Farbstoffen ein.

Der Farbcharakter der Aminosäurederivate erlaubt bei Verwendung violetten Lichtes in den gebräuchlichen optischen Geräten mit der ihnen entsprechenden Genauigkeit die einzelnen Aminosäuren in Mengen von ca. 10^{-6} Mol (z. B. 75 γ Glykokoll) zu bestimmen.

Die Untersuchungen wurden gemeinsam mit M. Oetzel, E. Rieser und W. Kruckenberg ausgeführt.

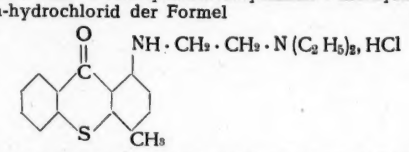
K. Zeile.

Eingegangen am 9. Januar 1947.

Miracil, ein neues Chemotherapeuticum gegen die Darmbilharziose.

Für die Behandlung der Darmbilharziose, einer in manchen tropischen Ländern weit verbreiteten, durch blutparasitische Trematoden der Gattung Schistosoma mansoni erzeugten Krankheit, stehen Antimonpräparate (Brechweinstein und Fuadin) und Emetin zur Verfügung. Da diese Präparate nur parenteral verabreicht werden können, die Behandlung sich über mindestens drei Wochen erstreckt, die Nebenwirkungen des Brechweinsteins und Emetins oft sehr unangenehm sind und auch die Wirksamkeit nicht immer befriedigt, wurde im Chemotherapeutischen Laboratorium der Bayer-Forschungsstätten-Elberfeld ein Modellversuch aufgebaut (Kikuth), der die laufende Prüfung chemischer Präparate auf ihre Wirksamkeit gegenüber der experimentellen S. mansoni-Infektion der weißen Maus gestattete. Das Ziel der seit 1936 durchgeführten Untersuchungen war die Auffindung eines neuen, peroral zu verabreichenden Chemotherapeuticums, das für Massenbehandlung geeignet ist.

Im Wiss. Chemischen Laboratorium der Bayer-Forschungsstätten-Elberfeld sind bereits eine große Anzahl basisch alkylierter, heterocyclischer Amine hergestellt worden, die interessante chemotherapeutische Wirkungen zeigten. Im gleichen Laboratorium wurde 1938 auch ein basisch alkyliertes Aminoxanthon synthetisiert (H. Mauss), das im Bilharziosetest als wirksam gefunden wurde (Kikuth und Gönnert). Es erhielt den Namen Miracil A = Ms. 577. Die intensive chemische Weiterarbeit und biologische Prüfung bei der experimentellen S. mansoni-Infektion der weißen Maus und des Affen kam mit der Auffindung des Miracil D = Ms 752 zu einem vorläufigen Abschluß. Bei dem Miracil D handelt es sich um 1-Diäthylaminoäthylamino-4-methylthioxanthon-hydrochlorid der Formel



Die Base, die in den gebräuchlichsten organischen Lösemitteln löslich ist, stellt aus Alkohol umkristallisiert gelbe Kristalle vom Schmelzpunkt 64—65° C dar; ihr gelbes, salzsaures Salz schmilzt bei 195—196° C. Die Synthese der Miracil-Derivate basiert auf der Tatsache, daß im Xanthon- bzw. Thioxanthonringsystem ein in o-Stellung zur CO-Gruppe befindliches Halogenatom gegen Amine austauschbar ist. Die Herstellung des Miracil D wurde deshalb durch Umsetzung von 1-Chlor-4-methylthioxanthon mit as.-Diäthyläthylendiamin bewirkt.

Bei der S. mansoni-Infektion der weißen Maus weist Miracil D einen chemotherapeutischen Index von 1:4 auf und ist bei diesem Test manchen nahe verwandten Verbindungen, die einen Index bis zu 1:30 haben können, unterlegen. Die Wirksamkeit bei der experimentellen Affenbilharziose ist aber der aller geprüften Xanthone und Thioxanthone so weit überlegen, daß dieses Präparat als das wirksamste angesprochen werden muß. Die Grenze der oralen Giftigkeit beim Affen war nicht zu bestimmen, da das Präparat bei Verabreichung von hohen Dosen (800 mg/kg und 400 mg/kg) erbrochen wurde. Niedrigere Dosen wurden glatt vertragen. Mit einer einmaligen peroralen Dosis des Miracil D von 20 mg/kg oder mit zweimal 10 mg/kg in dreitägigem Abstand konnten die erkrankten Tiere mit Sicherheit geheilt werden. Die Vorzüge von Miracil D gegenüber Antimonpräparaten und Emetin im Tierversuch sind:

1. Möglichkeit der oralen Behandlung gegenüber der notwendigen parentalen Verabreichung der Handelspräparate,
2. Heilungserfolg bei 1- oder 2maliger Verabreichung kleinster Dosen, infolgedessen sehr kurz dauernde Behandlung.

Damit ist im Tierversuch bei der experimentellen S. mansoni-Infektion das gesteckte Ziel der Auffindung eines oral zu verabreichenden Chemotherapeuticums erreicht. Ob sich die gute Wirksamkeit des Miracil D auch auf die menschliche Darmbilharziosis erstreckt und ob es für Massenbehandlung tatsächlich geeignet ist, muß die von uns nicht durchführbare klinische Untersuchung ergeben.

Chemotherapeutisches Laboratorium der Bayer-Forschungsstätten, Elberfeld.

Wiss. Chemisches Laboratorimu der Bayer-Forschungsstätten, Elberfeld.

W. Kikuth. R. Gönnert. H. Mauss.

Eingegangen am 9. Dezember 1946.

Diphenylarsinchlorid als Mitosegift.

Einige anorganische und metallorganische Arsenverbindungen sind durch die Arbeiten von A. Fischer[1]), Dustin[2]), O. Bucher[3]) und anderen als Mitosegifte bzw. carcinogene Substanzen bekannt geworden. Wir stellten uns die Aufgabe, die Mitoseaktivität des Diphenylarsinchlorids zu prüfen.

Die Untersuchungen wurden an Triton- und Salamanderlarven ausgeführt, deren Epithelgewebe für Mitoseuntersuchungen besonders geeignet ist. Das Gift wurde dem Aquariumwasser in wechselnder Konzentration zugesetzt. Die Wassertemperatur betrug bei den Versuchen gleichmäßig 15° C. Die Beurteilung der Giftwirkung auf die Mitose erfolgte nach drei Gesichtspunkten: 1. durch Zählen der sichtbaren Teilungsfiguren, 2. durch differenziertes Auszählen der verschiedenen Teilungsstadien und 3. durch Studium des morphologischen Bildes der Mitosestörung.

Die quantitative Abhängigkeit der Wirksamkeit ergab eine differenzierte biologische Wirkung durch Giftkonzentrationen von 1:10 Millionen bis 1:1 Milliarde. Die Empfindlichkeit der verschiedenen Zell- und Tierarten weist feine Unterschiede auf. Salamanderlarven sind etwas weniger empfindlich als Tritonlarven (wohl entsprechend dem ihnen als zukünftigen Landtieren eigenen festeren Deckgewebe.) Die Leydigschen Zellen[4]) lassen ganz besondere Empfindlichkeit erkennen. Cytologisch gesehen sind die Wirkungen innerhalb dieser toxischen Konzentrationen sehr verschiedener Art. Mit zunehmender Konzentration wird die Zahl der sichtbaren Mitosen geringer und der Anteil der pathologischen Formen größer.

Die Grenzkonzentration von 1:1 Milliarde bewirkt nach 16- bis 20stündiger Einwirkung beträchtliche Vermehrung der sichtbaren Mitosen. Bei der Auszählung der Corneamitosen ließ sich 40—60%ige Vermehrung an beiden Corneen gegenüber sonst milieugleichen Geschwistertieren (Larven, die dem Fruchthalter desselben Muttertieres entnommen waren) feststellen. Die differenzierte Auszählung der verschiedenen Teilungsstadien ergab folgende prozentuale Verteilung: 27 % Prophasen, 15 % frühe Metaphasen, 22 % Äquatorialplatten, 6 % Anaphasen, 10 % Telophasen (Zelleibdurchschnürungen) und 20 % Rekonstruktionsphasen. Diese Verteilung entspricht einer relativen Vermehrung der Anfangsphasen und stellt einen Verteilungstypus dar, der als charakteristisch für Mitoseanregung angesehen wird und gegen

Vermehrung der Mitosezahl durch Ablaufsverlangsamung infolge Hemmung spricht.

Eine mitosestimulierende Wirkung des Arsenik wurde von O. Bucher beschrieben, der durch Zeitrafferfilmmethode an Fibrocytenkulturen eine Erhöhung des mitotischen Quotienten bei normaler Ablaufzeit (von 42—52 Minuten) der einzelnen Mitose feststellte. B. stellt diese Wirkung in Gegensatz zur Colchicinmitosevermehrung, die er auf Ablaufshemmung besonders in der frühen Metaphase zurückführt. Die Konzentrationen, mit denen Bucher diesen Effekt erzielte, liegen bei Arsen zwischen 1:10 und 1:40 Mill., bei Colchicin 1:100 Mill.

Obwohl Konzentrationsvergleiche mit anderen Mitosegiften im Hinblick auf die unterschiedlichen Testobjekte nur bedingt verwertbar sind, entsteht beim Vergleich der Grenzkonzentrationen doch der Eindruck, daß Diphenylarsinchlorid an Intensität alle bisher bekannten Mitosegifte übertrifft.

Die Analyse der Mitosestörungen nach stärkeren Konzentrationen bestätigt die besondere Wirkung dieser Verbindung. Die Teilungsbilder zeigen je nach Länge und Konzentration der Gifteinwirkung pathologische Formbilder in zweierlei Richtung: 1. eine charakteristische Schädigung nach 8—10stündiger Einwirkung einer Konzentration von 1:10 Mill.: die Mehrzahl der Mitosen zeigt Absprengung einzelner oder mehrerer Chromosome aus dem metaphasischen Verband. In anderen Fällen kommt es darüber hinaus zur völligen Auflösung dieses Verbandes, so daß die Chromosomen frei über das Cytoplasma verstreut liegen. Die Gestalt der Chromosomen selbst ist entweder normal oder etwas geschrumpft (s. Fig. 2). Der weitere Teilungsablauf ist in der späten

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 1. Normale Mitose (Metaphase). Vergr. 1:900.
Fig. 2. Auflösung des metaphasischen Chromosomenverbandes. Normal gestaltete frei über das Cytoplasma verstreute Chromosomen. „Frühschäden" (9 Stunden in Konztr.: 1:10 Mill.), Vergr. 1:1200.

Metaphase blockiert. Endphasen sind nicht sichtbar. Die Tiere gehen nach 24 Stunden zugrunde. Die Schäden sind an den differenzierten Leydigzellen ebenso wie an den einfachen Epithelzellen erkennbar. 2. Charakteristische Schädigung nach 24—36stündiger Einwirkung schwächerer Konzentrationen (von 1:100 Mill.): Die Chromosomen der Leydigzellen erscheinen maximal gestreckt in Gestalt fester langer Fäden, aufgespalten, verzweigt und zum Teil verklebt. Die Endstücke der Fäden sind kugelförmig verdickt und zeigen zumeist paarige Anordnung. Diese feinfadigen Chromatinstrukturen füllen das gesamte auffällig gequollene Cytoplasma aus, der Gesamteindruck eines solchen Chromosomengefäßes ist der eines sehr feinen Gespinstes (s. Fig. 3, 4 und 5).

Fig. 3

Fig. 4

Fig. 5

Fig. 3. Feine, aufgespaltene, verzweigte u. z. T. verklebte Chromatinfäden, gespinstartig das gesamte Cytoplasma ausfüllend. „Chromosomengespinst", „Spätschäden". — (24 Stunden in Konztr.: 1:100 Mill.), Vergr. 1:900.
Fig. 4. Gröberes Gespinst. Chromosomen-Verklebung u. -Aufspaltung. Vergr. 1:900.
Fig. 5. Auflösung des metaphasischen Chromosomengefüges, Verklebung und Spaltung. Vergr. 1:900.

Über die cytologische Deutung der Befunde kann im Rahmen dieser von vorwiegend toxikologischen Gesichtspunkten ausgehenden Arbeit nur Weniges gesagt werden.

Für die Frühschäden dürfte eine toxische Störung der achromatischen Teilungsmechanismen verantwortlich sein. Hierfür spricht neben der Auflösung der Chromosomenordnung auch der Zeitpunkt der Phasenablaufstörung, die Erschwerung des Anaphasenbeginns.

Bei der Beobachtung der Spätschäden erhebt sich zunächst die Frage, ob wir in den genannten Gespinsten überhaupt eine Mitoseatypie und nicht eine Form der Kernauflösung oder eine nach dem Zelltod durch Plasmaentmischung aufgetretenes „basophiles Reticulum", etwa analog dem Reticulocytennetz zu erblicken haben. Die starke Schrumpfungstendenz der Kerne macht dieses unwahrscheinlich, durch den Nachweis aller Formen von Zwischenstufen zur normalen Mitose wird dieser Gedanke widerlegt. Es muß sich daher um hochgradige Mitoseatypien handeln, die ätiologisch am ehesten dadurch zu erklären sind, daß man die Fäden mit ihrer unregelmäßigen Oberfläche als entspiralisierte Chromonemen mit aufgereihten Chromomeren auffaßt. Die Verzweigungen und Aufspaltungen als Schwesterchromonem, die im Zustand der Entwindung auseinander gewichen sind. Diese Befunde lassen auf eine tiefgreifende Wirkung, die über die allgemeine Cytoplasmaschädigung hinaus direkt in die innere Chromosomenstruktur eingreift, schließen.

Während die als Frühschäden geschilderten Bilder im Prinzip ganz den Arsenikschäden entsprechen, die O. Bucher[3]) beschreibt, dürfte es zu den Spätschäden bisher keine entsprechenden Parallelbefunde geben. Das Auftreten zwei grundsätzlich verschiedener pathologischer Teilungsbilder erinnert allerdings an den Primär- und Sekundäreffekt bei Röntgenmitoseschäden, wie sie zuerst von Alberti und Pollitzer[5]) an der Cornea desselben Versuchstieres gefunden wurden. Der Primäreffekt ist durch starke Veränderungen der Chromosomen selbst charakterisiert, zeigt also Beziehung zu unserem Spätschaden; der Sekundäreffekt ist durch Chromosomenabsprengungen bei sehr geringer Veränderung der Chromosomenindividualität gekennzeichnet. Er ist in dieser Hinsicht unserem Frühschaden vergleichbar. Die Umkehrung der Reihenfolge entspräche der Angriffsform des schädigenden Agens, den direkt zu den Chromosomen vordringenden Strahlen bzw. dem langsam diffundierenden chemischen Gift. Aus dieser Vergleichsmöglichkeit ergeben sich interessante Einblicke in das Verhältnis der Reizempfindlichkeit von plasmatischen Regulationsmechanismen und Chromosomen gegen physikalische und chemische Reize.

Nach diesen cytologischen Befunden erscheint Diphenylarsinchlorid als das stärkste bekannte Mitosegift, dem sicherlich bei Forschungen auf dem Gebiete der Neoplasmen, der Genetik und der mitotischen Feinanalyse eine besondere Bedeutung zukommt.

Diese Untersuchungen wurden im Jahre 1942 im Pharmakologischen Institut der Universität Würzburg unter Leitung von Herrn Professor Flury ausgeführt; Herrn Professor Schleip bin ich für freundliche Unterstützung zu besonderem Dank verpflichtet.

Mediz. Klinik, Göttingen. H. H. Müller.

Eingegangen am 15. Dezember 1946.

1) A. Fischer, C. r. Soc. Biol. Paris **94** (1926).
2) A. P. Dustin et R. Piton, Bull. Acad. Méd. Belg. **1929**, 26—35.
3) O. Bucher, Z. f. Zellenforschung, Bd. **30 H**, 3 (1939).
4) Epithelzellen, die die Schleimreaktion nach Heidenhain geben und denen einige Autoren, z. B. Saguchi, sauerstoffübertragende Funktion zuschreiben.
5) Alberti u. Pollitzer, Arch. f. mikrosk. Anat. **100** (1923), **103** (1924).

p-Aminobenzoesäure, ein Wuchsstoff für das Urtierchen *Vorticella nebulifera*.

Über den Wuchsstoffcharakter der *p*-Aminobenzoesäure (Vitamin H') gegenüber den verschiedenartigsten Mikroorganismen ist vielfach schon berichtet worden[1]). Nunmehr ist nach unseren eigenen Beobachtungen auch ein Protozoon, das Glockentierchen *(Vorticella nebulifera* Ehrb.)[2]) in die Gruppe der Kleinlebewesen aufzunehmen, die durch diesen Wirkstoff günstig beeinflußt wird. Wir experimentierten mit Amphibienlarven *(Rana temporaria)* und stellten dabei oft eine zufällige Lebensgemeinschaft dieser Süßwassertiere höherer Entwicklung mit glockenförmigen Einzellern fest. Man konnte bei der optimalen Wachstumstemperatur 20—24° und dem $p_H=7$ die auf den Kaulquappen siedelnden Wimperinfusorien hinsichtlich ihres Wuchses mit dem wasserlöslichen „Bakterienvitamin" fördern. In folgender Tabelle ist der mit *p*-Aminobenzoesäure erzeugte Wachstumsgrad der Vorticelle angegeben.

Hier wurde auch die mit den beiden anderen, isomeren Aminobenzoesäuren und die mit Sulfanilsäure erhaltene Gestalt zum Vergleich angeführt. D'UDEKEM[3]) gab die Größe der Vorticellenglocke mit ungefähr 60 μ, einschließlich des entspannten Stielmuskels mit nahezu 300 μ an, was offenbar den normalen Dimensionen entspricht. Hiervon weichen ganz deutlich die biologischen

Tab. 1. *Experimentell hervorgerufene Wuchsformen der Vorticelle.*

Lebewasser + org. Säure (Na-Salz)	½ Liter Leitungswasser + je 50 mg; Kontrolle	p-Aminobenzoesäure	o-Aminobenzoesäure	m-Aminobenzoesäure	Sulfanilsäure
Wachstumsintensität	Viele Verbände bis zu 10 Individuen	Beschleunigter, massenhafter Wuchs	Normale kurzstielige Gruppen	Reiche Kolonienbildung mit kurzem Stiel	Gehemmter Wuchs, meist Einzelwesen schwache Kolonien mit sehr kurzem Stiel
Stielmuskellänge in μ	130—330	330—660	130—200	66—130	~ 30

Ergebnisse ab, die man bei den Einzellern nach Fütterung mit Aminobenzoesäuren und Sulfanilsäure erhalten hat. 0,73 Millimol *p*-Aminobenzoesäure wirkte gegenüber der Kontrolle sehr stark wachstumssteigernd; im Gegensatz dazu hemmten Anthranilsäure (o-Aminobenzoesäure) (am wenigsten), m-Aminobenzoesäure (stärker) und Sulfanilsäure (am meisten) die Entwicklung des Urtierchens. Die Wuchsstoffwirkung bestand in einem beschleunigten und rasenähnlichem Wachstum, besonders in dem Gel enthaltenden und chitinoiden Vorticellenstiel bis zu 660 μ Länge gekennzeichnet. *p-Aminobenzoesäure besitzt also in bezug auf die Vorticella nebulifera Vitamincharakter.* Der Sulfonamidgrundkörper schädigte in einer 0,58 Millimol starken Lösung den Protozoenwuchs. Ähnliche Ergebnisse erhielten schon LAVOR und FERGUSON am Wimperinfusorium *Paramäcium caudatum* [4]). Der Wachstumsstillstand durch Sulfanilsäure, dem Antagonisten der *p*-Aminobenzoesäure, ist für die Bedeutung des Vitamins H' als Wirkstoff bezeichnend. Eine derartige Wachstumshemmung ist wohl auf die Lahmlegung des Atem- oder eines Enzymsystems zurückzuführen [5]).

Die *Stielmuskellänge* [6]) unserer gezüchteten Protozoen eignet sich als ein *spezifischer Gradmesser* für die biologische Energie der geprüften Stoffe. Für die Protisten dürfte eine mit synthetischer Substanz hervorgerufene Wuchsförderung der Vorticella bedeutsam sein, da anschließende fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen sicher von Interesse sein werden.

Frankfurt a. M., Institut f. Chemotherapie „Georg-Speyer-Haus".

FRIEDRICH HUTER.

Eingegangen am 1. November 1946.

[1]) Literatur siehe in der ausführlichen Mitteilung von F. HUTER, Arbeiten aus dem Staatsinstitut f. exp. Therapie u. d. „Georg-Speyer-Haus", Frankfurt a. M., Heft 46 (1946).

[2]) Näheres über das gestielte Wimperinfusorium bei DOFLEIN-REICHENOW, Protozoenkunde, 5. Aufl., Fischer-Verlag, Jena (1928).

[3]) In LANG, A.: Vergleichende Anatomie, 2. Lief. Protozoen, Jena (1901).

[4]) J. ELISHA MITCHELL, Sci. Soc. 58, 163—169 (1942).

[5]) Vergl. v. EULER, AHLSTROM und HÖGBERG: Arck. f. Kem. Mineral. o. Geol. 17 A 1 (1943).

[6]) Die Feinstruktur beschreibt JOZSEF v. GELEI: Jenaische Z. f. Medizin u. Naturwiss. 76, 224 (1943).

Besprechungen.

WOLFGANG H. VEIL, **Goethe als Patient.** 2. ergänzte Auflage. Jena Gustav Fischer 1946, mit einer Abbildung im Text und 3 Bildtafeln. 303 Seiten. Preis gebunden 6,50 RM.

Der jähe Tod, der dem Leben des Verfassers aus vollem Schaffen als Direktor der Medizinischen Klinik zu Jena ein Ende setzte, ruft das Bild des Lebendigen in unser Gedächtnis, das Bild des Künstlers wie des großen Internisten, der niemals Spezialist war, sondern der immer den *ganzen* Menschen im Auge hatte, wenn er seine Patienten behandelte. Seine vielseitige Bildung unterstützte seine ausgesprochene Neigung zu medizin-historischen Arbeiten. Die Antike war ihm nahe und vertraut wie das Mittelalter. Das Paracelsus-Jubiläum (1941) hat ihn zu Studien und Veröffentlichungen angeregt, die beachtlich sind. Auf sein Buch *„Schillers Krankheit"*, erstmalig 1936, kürzlich in zweiter Auflage erschienen, wird im Rahmen einer besonderen Besprechung näher eingegangen werden. Aus einem viel beachteten Vortrag in der Goethe-Gesellschaft ging dann sein Buch *„Goethe als Patient"* hervor, das nunmehr in stark erweiterter Auflage erschienen ist.

Das neue Buch beleuchtet die Gestalt Goethes auch im Blick auf dessen seelische Gesundheit, während sich die erste Auflage auf Goethes körperliche Leiden bewußt beschränkte. VEIL empfand es indessen als unerträgliche Belastung, zu den Fragen zu schweigen, die von der Psychopathologie her immer wieder und mit fast diabolischer Freude am Forschen nach psychopathischen Merkmalen bei Goethe gestellt worden waren. Dazu reizte ihn die psychologische Betrachtung der Persönlichkeit Goethes ungemein. Abhold jeder wissenschaftlichen Neugier, die sich zufrieden gibt, wenn sie beim Genius ähnliche oder verwandte Züge entdeckt, tritt VEIL mit der reichen Erfahrung des großen Arztes und Menschenkenners an die riesenhafte Ganzheit heran, wie sie sich in dem leiblich-seelisch-geistigen Gesamtkomplex Goethe offenbart. Dabei kamen ihm zwei große Vorzüge zustatten, die ihn zu solcher Untersuchung hervorragend befähigten: einmal die genaueste Kenntnis aller in das Gebiet der Medizin schlagenden Fragen zu Goethes leiblicher Gesundheit und seinen Abwehrkräften gegen Krankheitsanfälle, sodann die innere Bereitschaft, mit der er als Künstler — und wie ich betonen muß, als Kenner Goethes — das innerste Erlebnis des Künstlers Goethe erfaßt und gestaltet.

Nachdem er zunächst *Goethes Todeskrankheit* auf Grund des Berichtes seines Arztes Dr. VOGEL als einen Anfall von Angina pectoris (Koronarinfarkt) identifiziert hat, untersucht er eingehend *Goethes Manneskrankheiten.* Hier interesiseren ganz besonders: 1. VEILs Feststellung, daß bei Goethe die Mundhöhle als Fokalinfektion zu betrachten ist, woraus sich vor allem seine Neigung zu rheumatischen Anfällen erklärt, 2. das glänzende Zeugnis HUFELANDs, der 1783—1793 Goethes Arzt war. 3. die Gegenüberstellung eines wichtigen Briefes der FRAU VON STEIN (3. 1. 1801) und einer modernen Darstellung aus JOCHMANNs Lehrbuch der Infektionskrankheiten (1924), die die Diagnose erysipelatöse Angina gestattet. 4. ein Gutachten Prof. REILs in Halle (1805), aus dem VEIL mühelos die Diagnose Nierensteine herausstellt, woran sich Untersuchungen über den wohltuenden Gebrauch der böhmischen Bäder schließen.

Entscheidend ist der nächste Abschnitt, der über *Goethes bedeutungsvolle Jugendkrankheit* handelt. Hier setzt sich VEIL mit überzeugenden Beweisen und innerster Anteilnahme am Gesamtverlauf der Erkrankung, wie des schwererkämpften Übergangs von der Pubertät zum Mannesalter gegen den leisesten Verdacht einer syphilitischen Erkrankung Goethes (MOBIUS, W. A. FREUND, ERICH SCHMIDT) zur Wehr und erweist mit absoluter Sicherheit, daß der Blutsturz vom Juli 1768 in Leipzig eine Tbc. der Lunge war, die glücklicherweise in Frankfurt 1769 völlig zur Ausheilung gelangte. So fällt auf die Leipziger Zeit und die Goethes Innerstes zutiefst aufwühlende Liebe zu Kätchen Schönkopf, der die letzte Erfüllung versagt blieb, neues Licht. Der Mediziner VEIL richtet hier dem Literaturhistoriker, auch was die Interpretation von Briefen und Gedichten anlangt, wertvollste Wegweiser auf!

Am wichtigsten erscheint mir die durchschlagende und kraftvolle *Korrektur,* die *VEIL an dem von den Psychiatern MOEBIUS und E. KRETSCHMER geschaffenem Goethebilde vornimmt,* das infolge der Überbewertung schizothymer bzw. zyklothymer Elemente in VEILs Kritik zum „Zerrbild" wird. Hat sich doch KRETSCHMER soweit verstiegen, daß er im Hinblick auf das einsame Dasein der beiden Goetheenkel vom „Jammer" der Familie Goethe spricht, den er nicht schwarz genug

malen konnte. Gegenüber jenen Versuchen, die genug Bewunderer und Nachbeter fanden, holt VEIL zu einem weitangelegten Angriff aus, bei dem er seine glänzend gewählten und geschickt ins Feuer geführten Belege in bunter (oft zu bunter) Fülle bald dem Mannesalter Goethes, bald der Kindheit oder Jugend oder dem Greisenalter entnimmt. Ich verweise hierbei auf ein „Glanzstück seines wahren Wesens", als welches VEIL Goethes männlich-aufrechte Haltung im Falle OKEN gegenüber dem Großherzog Carl-August bezeichnet, der sehr zum Schaden der Universität Jena damals Goethes Rat *nicht* befolgte (Verbot der Zeitschrift Isis!). VEIL wird dabei sowohl dem Genius Goethe immer voll gerecht als auch den „gleichbleibenden Grundelementen seines Charakters", die er mit Fug und Recht auch in der „empfindlichsten" Zeit des Menschen von der Pubertät bis zum beginnenden Mannestum — und das heißt bei Goethe vom 17. bis 27. Lebensjahr — klar und deutlich ausgeprägt und erhalten findet, wobei er — unübertroffen! — allen Stürmen und Schwankungen die „Seelenbereitschaft der Freude" gegenüberstellt, die „das innere Gleichgewicht stets wiederherstellte und den inneren Zwangsrhythmus der Zyklothymie ebenso wenig aufkommen ließ wie das beeinträchtigende innere Gesetz der Schizothymie" (S. 159). In ständiger Anerkennung des Künstlertums, das ohne Stürme nicht denkbar ist, arbeitet VEIL immer wieder heraus, was Goethes Charakterfestigkeit ausmachte: Seelengüte, Offenheit, Gutmütigkeit, Arglosigkeit, Klugheit und Diplomatie, innere Demut ‚ganz ohne Stolz". In diesen Zusammenhängen beurteilt VEIL auch die italienische Reise in scharfer Abwehr der psychopathologischen Darsteller in klassischer Formulierung richtig und überzeugend: „Weder war Goethe vor dieser längst geplanten Reise melancholisch noch in Erregung, während er sie tat, noch in den Jahren vor dem Eintritt in den Weimarer Kreis; sondern alles, wie es geschah, war das Ergebnis inneren Kampfes um sich selbst, um Natur und Freiheit, die seine Lebenselemente waren."

In allen Zeiten seines langen Lebens war Goethe — nach VEIL — frei von augenblicklicher oder periodischer Erregung im Sinne der Psychiatrie, ein echtes „Gewächs deutschen Bodens mit langer Reifung von der Blüte bis zur Frucht".

In seiner an zahllosen Beispielen mit oft ergreifender Innerlichkeit durchgeführten Analyse des Lebens und Werkes des ganzen Goethe offenbart sich VEILs großes Arzt- und Künstlertum im schönsten Sinne. Mag bei der Fülle der Gesichte, die VEIL, den ungewöhnlichen Arbeitsmenschen und Naturwissenschaftler, dennoch bestürmt, in seinem Goethe-Buch, was Aufbau und Stil anlangt, manches barock anmuten, es bleibt ein bedeutender Wurf, bei dem das Wort des Martial volle Geltung hat:

grandia pollicitus quanto maiora dedisti!

Jena. B. VON HAGEN.

Frederick K. Sparrow, Jr., **Aquatic Phycomycetes, exclusive of the Saprolegniaceae and Pythium.** The University of Michigan Press, 1943. 785 Seiten. Preis $ 5,00.

Das Werk füllt eine wichtige Lücke in der botanischen Spezialliteratur aus. Seit der Zusammenfassung von M. von Minden in Rabenhorsts Kryptogamenflora im Jahre 1915 sind auf dem Gebiete der niedersten, besonders im Wasser vorkommenden Pilze, der Phycomyceten, sehr große Fortschritte gemacht worden. Durch systematische Untersuchungen hat sich unsere Formenkenntnis dieser primitiven Organismen sehr stark erweitert, zahlreiche neue Arten sind gefunden worden, und vor allem sind grundsätzlich wichtige Entdeckungen über ihren Entwicklungsablauf, den Generationswechsel und die Sexualität gemacht worden. Es befand sich daher schon seit vor dem Kriege deutscherseits eine neue Phycomycetenbearbeitung in Vorbereitung, die aber durch die Zeitverhältnisse und Kriegsgefangenschaft des Bearbeiters (W. Höhnk) noch nicht abgeschlossen ist. Das Buch Sparrows, der selbst Spezialist auf dem Gebiete ist, ist daher sehr zu begrüßen. Es ist gut ausgestattet und bringt eine offenbar sehr vollständige, breite, kritische Zusammenstellung aller hierher gehörigen Arten, die durch zahlreiche Abbildungen illustriert und durch gute Bestimmungsschlüssel leicht benutzbar ist. Die Großeinteilung fußt auf den Ausführungen, die A. Scherffel 1925 im Archiv für Protistenkunde veröffentlicht hat. Vor jeder größeren systematischen Einheit wird eine Übersicht über alles Wesentliche auch außerhalb der Systematik liegende gegeben, und das Ganze wird durch einen allgemeinen Teil eingeleitet. Das Buch hält sich bei aller Gründlichkeit frei von Spekulationen; so weist der Verfasser im Kapitel „Phylogeny and Relationships" auf die bis 1930 erschienenen zusammenfassenden Darstellungen hin, ohne auf ihren Inhalt weiter einzugehen und meint "It seems useless, therefore, to add another chapter at this time to the already superabundant literature on the subject". Ein deutscher Autor würde sich die günstige Gelegenheit zu phylogenetischen Erörterungen kaum haben entgehen lassen! Das Buch ist während des Krieges in Amerika erschienen; den deutschen Leser berührt sympathisch, daß sich auf dem Titelbild, auf dem die 4 bedeutendsten Phycomyceten-Forscher dargestellt sind, auch F. W. Zopf befindet.

R. Harder.

Tagesnotizen.

Hans Winkler †.

Am 22. November 1945 ist Hans Winkler kurz nach seiner Emeritierung und nachdem sein „Institut für allgemeine Botanik" in Hamburg, dessen Vorstand er mehr als 30 Jahre gewesen ist, durch Bomben erheblichen Schaden erlitten hatte, gestorben.

Winkler wurde 1877 in Oschatz geboren. Schon im Alter von 26 Jahren lernte er auf einer längeren Reise weite Teile der Welt kennen, und 1925 kehrte er nochmals mit reicher wissenschaftlicher Beute, diesmal aus Zentralborneo, heim. Die auf den Reisen gesammelten reichen Erfahrungen halfen mit, in den Gewächshäusern des Hamburger Botanischen Gartens ein ungewöhnlich reichhaltiges Material für Forschung und Unterricht zu kultivieren; auch seltene Gäste unserer europäischen Gewächshäuser gediehen dort prächtig. Wichtiger noch waren die in den benachbarten Versuchsgewächshäusern durchgeführten experimentellen Arbeiten. Hier war Winkler mit der Analyse der Pfropfbastarde beschäftigt; die Arbeiten über Chimären und Burdonen legen vom Erfolg dieser Forschungen Zeugnis ab. Zum großen experimentellen Geschick gesellte sich aber noch der Scharfsinn des Denkens. Immer wieder konnte Winkler durch seine klare und tiefe Gedankenführung der Genetik und Entwicklungsphysiologie neue Anregungen vermitteln. Das zeigt auch sein letzter Aufsatz über den „Biontenwechsel", der uns ein trefflich ordnender Führer durch die scheinbar unübersichtliche Fülle der Abweichungen vom normalen Verlauf des Generationswechsels im Pflanzenreich sein kann.

Winkler hatte ein ungewöhnliches Maß von gedanklicher Klarheit, experimentellem Geschick und umfassender Formenkenntnis in sich vereinigt. Möge er nicht einer der letzten Botaniker gewesen sein, denen diese hohe Anerkennung ausgesprochen werden darf.

E. Bünning.

Gesellschaft Deutscher Chemiker in Hessen e. V.

Auf der am 22. Januar 1947 in Frankfurt a. M. stattgefundenen Gründungsversammlung wurde die Bildung einer „Gesellschaft Deutscher Chemiker in Hessen e. V." beschlossen. Die neue Gesellschaft übernimmt die guten Überlieferungen der alten fachwissenschaftlichen Vereinigungen auf dem Gebiet der Chemie, insbesondere des Vereins Deutscher Chemiker und der Deutschen Chemischen Gesellschaft, im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen für das Gebiet Groß-Hessens. Zulassungsgenehmigung ist beantragt.

Sitz der Gesellschaft ist Frankfurt a. M. Anfragen beantwortet die Geschäftsstelle in Grünberg/Oberhessen, Marktplatz 5.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: ARNOLD EUCKEN, Göttingen.
Springer-Verlag in Berlin und Göttingen. — Druck: „Muster-Schmidt" KG., Göttingen.